

C.S.F.D.

Comité Scientifique Français pour la Désertification

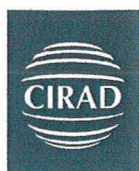
Opération de recherche 023

Pour une gestion viable des ressources ligneuses périurbaines

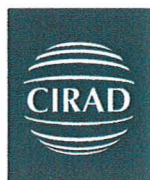
*Analyse et modélisation des règles et pratiques
coutumières sur divers milieux naturels sahéliens et
sahélo-soudaniens au Niger et au Mali*

Rapport final Tome 1

Décembre 2003



Equipe
SMA
Systèmes Multi-Agents



**Centre de coopération internationale en recherche
agronomique pour le développement
Départements Cirad-forêt & Cirad-tera**



Institut de recherches pour le développement



**Université Abdou Moumouni de Niamey (Niger)
Centre régional d'enseignement spécialisé en
Agriculture (CRESA)**



Institut d'économie rurale du Mali



**Université Cheikh Anta Diop de Dakar
Ecole supérieure polytechnique
Département Génie Informatique
Equipe systèmes multi-agents**

Préambule

A la suite de l'appel d'offres lancé en 1998 par le CSFD, Comité scientifique français pour la désertification, l'équipe présentée ci-dessous a formulé une proposition de recherche qui a été sélectionnée et financée. Le présent rapport rend compte de l'exécution de cette opération de recherche, des travaux réalisés et des résultats d'ores et déjà obtenus.

Les équipes coordonnées du CIRAD et de l'IRD ont assuré conjointement l'appui et le suivi méthodologique et scientifique de l'opération de recherche dans les diverses spécialités indispensables à la réussite de la recherche :

- L'équipe du programme Forêts naturelles du CIRAD-Forêt avec Alain Bertrand a assuré la responsabilité de la conduite de l'opération de recherche. Par ailleurs elle a apporté un appui méthodologique pour la réalisation des enquêtes socio-économiques sur les règles et les pratiques coutumières de gestion des ressources forestières dans les zones où sont installées les parcelles de suivi écologique mises en place par les projets de développement « Energie domestique » au Niger et au Mali.
- L'équipe du laboratoire ORSTOM de phyto-écologie installée à la maison de la télédétection à Montpellier et conduite par Jean-Marc d'Herbes a apporté, en collaboration avec le programme Forêts naturelles du CIRAD-Forêt, l'appui méthodologique pour l'analyse des données recueillies sur les diverses parcelles de suivi écologique.
- L'équipe du programme ERE du CIRAD-TERA conduite par François Bousquet puis par Martine Antona et Christophe Le Page a appuyé l'ESP et l'équipe des étudiants chercheurs pour le traitement des enquêtes, la conceptualisation du modèle et l'élaboration des versions successives de la modélisation multi-agents.

La coordination entre les différents partenaires devait être et a été assurée conjointement par le CIRAD-Forêt (Alain Bertrand) et le CIRAD-TERA (François Bousquet parti en poste en Thaïlande a été remplacé par Martine Antona). Tous deux ont l'habitude de travailler ensemble et les résultats de la présente opération de recherche sont très largement le fruit de leur collaboration. A travers Alain Bertrand la coordination a atteint les deux projets « Energie domestique » et les institutions de recherche (IER et CRESA-Université de Niamey) au Niger (malgré le départ à Madagascar de Pierre Montagne, CIRAD-Forêt, programme Forêts naturelles, en poste de conseiller technique à la Direction de l'Environnement à Niamey) et au Mali (par l'intermédiaire de Yves Nouvellet, CIRAD-Forêt, programme Forêts naturelles, en poste de conseiller technique au projet Stratégie Energie domestique à Bamako). A travers Martine Antona et Christophe Le Page, la coordination a été en contact très régulier, voire permanent, avec l'ESP à Dakar. La coordination entre les deux équipes du CIRAD et de l'IRD à Montpellier ne posait pas de problème mais a fonctionné de façon plus lâche que prévu compte tenu des emplois du temps très chargés et rarement concordants des partenaires.

Présentation de l'opération de recherche

Le Niger et le Mali sont les deux premiers pays sahéliens à s'être engagés dans une politique intégrée de gestion de l'énergie ligneuse (Stratégies Energie Domestique du Niger: 1990 et du Mali: 1994) visant à assurer simultanément :

- un approvisionnement satisfaisant des populations urbaines en bois-énergie
- et une gestion décentralisée et durable des ressources ligneuses par transfert contractuel de la gestion locale des ressources forestières aux populations rurales dans les différents bassins d'approvisionnement de bois-énergie des villes de ces deux pays.

Les ressources végétales naturelles des périphéries proches (et parfois lointaines) des principales villes du Sahel sont soumises à des pressions multiples résultant :

- du développement des activités agricoles dans un contexte d'extensification plutôt que d'intensification,
- du développement incompressible (produit de première nécessité et d'usage quotidien) de la récolte de bois-énergie (bois de feu et/ou charbon de bois selon les cas) résultant de l'accroissement de la population urbaine et de la quasi absence de substituts énergétiques.

La gestion viable à long terme des ressources ligneuses périurbaines constitue donc un des objectifs majeurs de la lutte contre la désertification non seulement au Mali et au Niger mais dans tout le Sahel. En effet d'autres pays africains comme le Sénégal, la Guinée-Bissau, le Burkina Faso et le Tchad s'apprentent à s'engager dans une voie similaire à celle ouverte par le Niger et le Mali.

Les deux projets Energie Domestique du Niger ⁽¹⁾ et du Mali ont tous deux une envergure nationale. Au Niger, plus d'une centaine de **marchés ruraux du bois-énergie** assurent depuis 1994 la gestion de forêts villageoises sur plus de 150 000 ha et la commercialisation du bois-énergie exploité par les populations rurales auxquelles l'administration de l'Environnement a transféré contractuellement la gestion de leurs ressources forestières et pastorales. Au Mali, un processus similaire est engagé et a conduit à la mise en place dès 1999 de plusieurs dizaines de **marchés ruraux du bois-énergie**.

¹ Au Niger, la Direction de l'Environnement attache une grande importance à la mise en œuvre de la Stratégie Energie domestique initiée en 1989 :
CSFD, Op. de R. N°23

Dans le cadre de leurs interventions et à des fins de suivi et évaluation permanents, ces projets ont mis en place dans différentes régions et sur divers milieux naturels un réseau de *placettes de suivi de la végétation* selon des protocoles permettant d'apprécier l'impact de diverses pratiques et/ou règles de gestion coutumières des ressources ligneuses: pâturage, feux, émondage, etc. La thématique proposée envisage une utilisation et une analyse novatrice des observations déjà faites (ou en cours par exemple au Mali) sur ce double réseau de placettes pour:

- Analyser simultanément (et non plus de façon séparée) l'ensemble des données recueillies sur les deux pays selon une stratification à la fois écologique des milieux naturels et sociaux des modes de gestion.
- Evaluer l'impact comparatif des diverses règles de gestion ou pratiques coutumières avec ou sans transfert de gestion locale des ressources. C'est à dire, non seulement analyser dans le détail sur le terrain et mettre en évidence les règles sociales et techniques qui président à l'utilisation des ressources, mais aussi apprécier par l'analyse des relevés sur le réseau de placettes l'impact des différentes règles de gestion sociale selon les milieux considérés.
- Utiliser l'outil de la *modélisation multi-agents* ⁽²⁾ pour évaluer l'impact des règles et pratiques coutumières et du transfert de la gestion locale sur l'état et surtout l'évolution dans la durée des ressources naturelles dans les différents milieux étudiés.
- Profiter de cette action de recherche-développement pour *former des équipes africaines* (Mali et Niger) à l'utilisation de la modélisation multi-agents et conforter et confirmer le rôle nouveau de l'ESP de Dakar comme un des pôles de référence en Afrique à ce sujet. Les partenaires scientifiques au Niger et au Mali ont identifié une équipe d'étudiants ou de jeunes chercheurs appelés à réaliser leur thèse sur le thème de recherche proposé.

L'objectif fondamental de cette opération de recherche était donc double :

- d'une part, *valider la modélisation multi-agents comme outil d'aide à la prise de décision pour la fixation de nouvelles règles de gestion locale contractuelle*
- et d'autre part, *former des équipes susceptibles d'utiliser ce nouvel outil dans les meilleures conditions.*

Objectifs de l'opération de recherche et travaux programmés

Les travaux à réaliser devaient être répartis en quatre phases principales :

1. Collecte des données recueillies sur les deux réseaux de placettes d'observation au Niger et au Mali et caractérisation écologique de chacune des placettes selon une typologie de milieux naturels transversale au Sahel. Eventuellement complément d'observations biologiques de terrain.
2. Analyse socio-économique sur le terrain des règles et des pratiques coutumières locales de gestion appliquées sur chacune des placettes et caractérisation selon une typologie sociale transversale.
3. Réalisation à Dakar (ESP) d'un modèle multi-agents unique de simulation combinant à la fois les dynamiques naturelles (à partir des résultats des deux réseaux de placettes) et les dynamiques sociales (à partir des enquêtes sur les règles et les pratiques coutumières de gestion locale).
4. Présentation, discussion et validation des résultats lors d'un atelier scientifique final et mise à disposition d'un outil d'aide à la décision et à la gestion des ressources ligneuses dans les pays du Sahel.

Les acteurs principaux de la recherche devaient être l'équipe d'étudiants et/ou jeunes chercheurs qui alterneraient séjours sur le terrain au Niger et au Mali et séjours à l'ESP à Dakar pour se former aux techniques de la modélisation et mettre progressivement au point le modèle de simulation multi-agents. Cette équipe travaillerait en concertation étroite avec les partenaires de développement (projets Energie domestique au Niger et au Mali) et avec les partenaires de recherche (IER, Université de Niamey, CIRAD et ORSTOM). Tous les ans un petit atelier scientifique d'une semaine permettrait de suivre l'avancement des études conduisant à la conception du modèle et d'orienter la suite des travaux.

Cette équipe d'étudiants – chercheurs devait en principe être composée de la façon suivante:

- Un forestier ou agro-économiste malien jeune chercheur de l'IER (Bamako)
- Un sociologue ou un géographe pastoraliste nigérien de l'administration de l'Environnement ou de l'Université de Niamey (CRESA, IRSH ou Faculté d'Agronomie)
- Deux informaticiens (dont un pourra être d'origine Mathématiques appliquées), un malien (de préférence jeune chercheur de l'IER) et un sénégalais (étudiant à l'ESP).

Pour la réalisation de ces travaux, il a été nécessaire d'appliquer à chaque étape des méthodologies adaptées. L'ensemble de l'opération de recherche s'est déroulé donc dans un cadre résolument pluridisciplinaire associant la biologie et les sciences et techniques forestières aux sciences sociales, en particulier la sociologie et l'économie, et à la modélisation. L'élaboration du modèle de simulation multi-agents a été le champ de dialogue entre les différentes disciplines scientifiques, chacune apportant des résultats et des analyses élaborés avec les méthodes respectivement reconnues dans chaque cas.

² La modélisation multi-agents vise à représenter sur un même modèle à la fois les dynamiques écologiques et les dynamiques sociales de façon à rendre plus visible et aisée l'analyse de leurs interactions.

L'objectif spécifique de formation imposait de mettre en œuvre ces méthodologies selon une approche pédagogique pour transférer au Sahel des compétences qui y sont à l'heure actuelle absentes.

Pour la collecte puis pour l'analyse des données de caractère biologique sur les parcelles de suivi au Niger et au Mali il convenait de ne pas se limiter à une compilation de deux séries de données de suivi environnemental réalisé dans le cadre des projets « énergie domestique » dans chacun des deux pays. Il fallait au contraire tenter d'intégrer les observations des deux réseaux de collecte en une seule base de données définie sur la base d'une caractérisation et d'une stratification cohérente des milieux naturels sahéliens sur la base de l'écologie de chacune des placettes.

Au cours de la phase initiale de collecte des données biologiques et forestières un premier passage sur le terrain sur au moins une partie des parcelles de suivi apparaissait nécessaire. Il semblait en effet nécessaire de :

- Compléter les données du suivi des placettes par un certain nombre d'observations permettant de préciser la situation écologique globale de la placette.
- Elaborer la stratification des milieux naturels sahéliens à partir d'une caractérisation écologique adaptée des différentes placettes dans les deux pays.

Dans un deuxième temps, en fonction des questions posées lors de la construction progressive du modèle multi-agents un retour sur le terrain sur au moins une partie des placettes devait s'avérer le cas échéant nécessaire pour réaliser des observations complémentaires et apporter des réponses utiles à la construction du modèle.

Pour pouvoir ensuite élaborer une modélisation multi-agents il fallait, au préalable, caractériser socialement et économiquement les modes de gestion coutumiers appliqués sur chaque parcelle de suivi prise en compte dans la base de données à caractère biologique définie au paragraphe précédent. Il semblait donc indispensable de procéder successivement aux actions suivantes :

- Analyser à partir d'enquêtes approfondies, dans la zone de chaque parcelle de suivi, les règles et les pratiques coutumières d'accès, de prélèvement, d'exploitation et/ou de gestion, d'exclusion reconnues à chaque catégorie d'acteurs économiques et sociaux, en se basant, sur la grille des maîtrises foncières et de gestion des ressources renouvelables dont le principe a été défini par Etienne Le Roy.
- Evaluer sommairement l'impact sur les formations ligneuses de ces différentes règles et pratiques et les comparer aux appréciations données par les diverses catégories d'acteurs lors des enquêtes. Il s'agira ici d'apprécier les éventuelles dynamiques conflictuelles avérées ou potentielles caractéristiques de la situation socio-économique de chaque zone.
- Décrire précisément pour chacune des zones, chacune des filières d'exploitation des produits forestiers ou des usages de la forêt en ce qui concerne les acteurs impliqués, leurs stratégies et les relations sociales et économiques (marchandes ou non marchandes) les liant entre eux.

Au terme de cette analyse détaillée sur le terrain, il était prévu d'élaborer progressivement une typologie socio-économique des règles et des pratiques coutumières de gestion propre à servir à l'élaboration ultérieure de différents modèles de simulation multi-agents caractéristiques des principales situations socio-économiques rencontrées sur l'ensemble de la zone sahélienne.

Dans un deuxième temps en fonction des questions posées lors de la construction progressive du modèle multi-agents un retour sur le terrain sur au moins une partie des placettes pouvait s'avérer le cas échéant nécessaire pour réaliser des observations complémentaires et apporter des réponses utiles à la construction du modèle.

La construction d'une modélisation multi-agents devait donc être un travail à réaliser en pluridisciplinarité permanente entre :

- Un tandem de deux informaticiens modélisateurs spécialistes de programmation (un sénégalais étudiant à l'ESP et un jeune chercheur malien de l'IER, dont un pourra être d'origine Mathématiques appliquées) qui sera chargé de concevoir et d'élaborer le modèle dans un dialogue permanent avec les deux spécialistes chargés de lui restituer les informations en provenance du terrain ;
- Un forestier ou un biologiste spécialiste de l'écologie végétale des zones sèches, voire un pastoraliste ayant réalisé la fusion des deux fichiers de données des parcelles de suivi de la végétation au Niger et au Mali;
- Un spécialiste des sciences sociales (géographe, sociologue ou socio-économiste).

La première tâche à réaliser par cette équipe était de proposer et de faire valider une hiérarchisation motivée des priorités de construction des modèles à élaborer correspondant à des situations type définies sur la base des deux stratifications écologique et sociale des zones des parcelles de suivi sur les deux pays étudiés. La validation de ces priorités de modélisation devrait être effectuée par l'ensemble des partenaires du projet de recherche avec un avis prépondérant des projets de développement intéressés à disposer au plus vite d'un nouvel outil d'aide à la décision et à la planification des activités de transfert de gestion contractuelle des ressources ligneuses. Cette tâche devait être validée lors du premier atelier de travail de l'opération de recherche après le séjour sur le terrain au Niger et au Mali des deux spécialistes de l'écologie forestière et de la socio-économie pour réaliser les deux premières tâches exposées précédemment (2.1.1 & 2.1.2).

La deuxième tâche à réaliser par l'équipe pluridisciplinaire de modélisation consistait à construire un premier modèle correspondant à la situation type choisie comme prioritaire. Ce premier modèle devait être élaboré par approches successives et dialogue continu entre les informaticiens et les spécialistes du terrain (forestier et socio-économiste). Cette tâche devait être réalisée à Dakar dans le cadre de l'ESP.

De nombreux exemples de systèmes multi-agents existent ou sont en phase de mise au point pour modéliser les interactions et les représentations dans différents cas de gestion des ressources renouvelables, de l'espace et de biens en propriété commune. Plusieurs objectifs peuvent être sous-jacents à la réalisation de ces modèles depuis la compréhension du comportement du système jusqu'à la prévision d'états ultérieurs. Dans le cadre de cette opération de recherche, on se plaçait dans le cadre particulier d'usages en vue d'une aide à la négociation et à la prise de décision. Dans ce contexte, des outils pour explorer des scénarios d'évolution d'un système en vue de la réalisation d'un objectif à long terme sont nécessaires. Les systèmes multi-agents peuvent aborder les négociations sous deux angles différents, chacun correspondant à une place différente de l'utilisateur du modèle par rapport à la négociation : extérieur à la négociation pour le premier, acteur particulier de la négociation pour le second :

- Dans un premier cas, le SMA représente la négociation. Les agents informatiques constituent les entités qui négocient. Les processus modélisés correspondent aux différentes conversations et échanges qui ont lieu entre les agents. Un des résultats attendus est la conclusion de la négociation. L'utilisateur se situe comme observateur extérieur à la négociation ; il cherche à comprendre comment se forme la décision collective du groupe qui est en relation.
- Dans un deuxième cas, le SMA représente le système concerné par la négociation. Les processus représentés sont ceux des dynamiques du système (dynamiques naturelles et dynamiques sociales). Le système explore les conséquences des scénarios des règles tels qu'ils peuvent être proposés dans un processus de négociation. Le résultat attendu est une gamme d'évolutions possibles du système représenté par le scénario particulier. Dans ce cas, l'utilisateur du modèle a une place certes particulière, au sein de la négociation : il a un rôle de tiers stimulant la proposition de scénarios et donnant aux acteurs, en cours de négociation, des arguments complémentaires.

Pour cette action de recherche nous nous sommes placés dans cette dernière perspective de relations entre SMA et négociation.

Au terme d'une première période annuelle de travail de relevés de terrain et d'élaboration progressive du premier modèle multi-agents, un atelier de travail interne de l'opération de recherche devait être organisé pour discuter et valider la conception du premier modèle, sans doute à un stade encore provisoire de sa mise au point, et le faire fonctionner comme un outil d'aide à la négociation sur la base de scénarios élaborés en commun. Regroupant à l'ensemble des partenaires du projet et en particulier les projets de développement « stratégie énergie domestique » du Niger et du Mali, cet atelier devait avoir pour objectifs essentiels de :

- Organiser une discussion pluridisciplinaire élargie de l'ébauche du premier modèle qui assure que ce modèle puisse devenir un véritable outil opérationnel de concertation et d'aide à la prise de décision pour l'institution concertée de nouvelles règles locales de gestion à même d'assurer une gestion viable à long terme des espaces et des ressources forestières..
- Utiliser cette discussion pluridisciplinaire comme un premier élément d'une démarche pédagogique pour apprendre aux projets de développement (et à travers eux dans un deuxième temps) comment utiliser la modélisation multi-agents comme un outil d'aide à la négociation et à la prise de décision pour la mise en place de règles locales de gestion et d'outils de gestion économiques, réglementaires, fiscaux ou institutionnels. Il s'agira de conduire le processus d'élaboration d'un ou plusieurs scénarios et de l'examen des effets prévisibles de ces scénarios sur les dynamiques du système modélisé.
- Formaliser progressivement à partir de cette expérience pratique une méthodologie opérationnelle pour l'utilisation de la modélisation multi-agents comme outil d'aide à la négociation et à la prise de décision pour la mise en place de nouvelles règles de gestion locale des ressources forestières.

L'objectif affiché de l'opération de recherche était bien de préparer l'utilisation ultérieure de la négociation assistée par système multi-agents pour la mise en place opérationnelle de règles locales de gestion de façon concertée en apportant aux acteurs en négociation des informations sur les principaux effets prévisibles des décisions envisagées et des modalités particulières des règles d'application des différents outils de gestion dont la combinaison est possible.

Pour que ceci soit possible, au-delà de l'opération de recherche proposée, était identifiée la nécessité que soit constituées au Sahel et, au moins pour partie, dans les trois pays concernés Niger, Mali et Sénégal, des équipes ou des compétences susceptibles d'utiliser cette méthodologie au service des administrations nationales et des projets de développement. C'est pourquoi, l'objectif de formation de ces équipes faisait partie intégrante de la présente opération de recherche.

Les produits attendus résultent directement des objectifs qui ont déjà été clairement identifiés :

- ***Valider la modélisation multi-agents comme outil d'aide à la prise de décision pour la fixation de nouvelles règles de gestion locale contractuelle : les produits attendus sont donc des modèles de simulation multi-agents qui soient des outils d'aide à la négociation opérationnels.***
- ***Former des équipes susceptibles d'utiliser ce nouvel outil dans les meilleures conditions : les produits attendus sont donc des équipes opérationnelles pour utiliser cette modélisation multi-agents.***

Les risques pouvaient donc être définis et évalués comme suit :

- Echec de la construction de modèles de simulation multi-agents qui puissent être de véritables outils d'aide à la négociation.
- Echec de la mise en place durable d'équipes susceptibles d'utiliser correctement la modélisation multi-agents comme outil d'aide à la gestion des ressources ligneuses.

Ces risques existent, mais ils devaient être évalués en tenant compte de la conception d'ensemble de la proposition de recherche qui vise justement à les minimiser ou à atténuer l'impact possible de leur échéance :

- La construction de modèles de simulation multi-agents qui puissent être des outils d'aide à la négociation de règles de gestion des ressources renouvelables est déjà engagée dans d'autres cadres (par exemple ATP CIRAD sur les relations SIG-SMA avec la modélisation de la filière Raphia à Madagascar ou ACI CNRS en collaboration avec l'INRA, avec l'élaboration de Plans Locaux d'aménagement dans la zone du Parc National des Cévennes). Les leçons de ces premières expériences en cours seront utiles pour réduire les risques d'échec de l'opération de recherche. Les résultats provisoires de ces actions sont d'ores et déjà prometteurs.
- L'objectif de constituer deux équipes susceptibles d'utiliser la modélisation multi-agents est déjà un moyen de réduire le risque de dispersion des équipes une fois la formation par l'action de recherche achevée. Par ailleurs l'ESP a fait de la modélisation une de ses priorités d'activités et on voit mal comment l'acquis prévisible de l'opération de recherche ne pourrait pas y être réellement capitalisé. L'IER est aussi une institution de recherche suffisamment solide pour que, si l'outil SMA apparaît réellement opérationnel, la capitalisation des résultats acquis soit jugée comme prioritaire.

Pour que ces risques soient réellement limités il fallait aussi que la programmation et l'organisation des travaux y concourent et que le suivi des diverses phases de l'opération de recherche permette une identification rapide des problèmes qui pourraient éventuellement compromettre le succès de l'opération de recherche.

Les stratégies énergie domestiques au Niger et au Mali

Nous présentons ci-dessous une évaluation aussi synthétique que possible de la situation actuelle concernant la gestion publique des ressources ligneuses du Niger et au Mali. Ce bilan de la situation actuelle commence par une présentation de la Stratégie énergie domestique qui a constitué un virage important et décisif de la politique énergétique et forestière du Niger au début des années quatre-vingt-dix, puis au Mali au milieu des années quatre-vingt-dix. Cette présentation est suivie d'un bilan aussi succinct que possible.

Il n'est pas inutile de rappeler les éléments essentiels qui composent la Stratégie Energie Domestique et ses objectifs principaux stratégiques et opérationnels.

La Stratégie Energie Domestique au Niger a été conçue de façon cohérente et combinée à la fois comme une nouvelle politique énergétique et comme une nouvelle politique forestière et plus de dix ans après cette innovation majeure il n'est pas inutile de faire le bilan.

Les constats de base de la Stratégie Energie Domestique au Niger, comme au Mali, étaient les suivants :

- Le bois énergie était (et reste) le combustible domestique de base et un produit de première nécessité pour des populations urbaines en forte croissance. En conséquence on est confronté à une demande socialement incompressible.
- Des dynamiques d'exploitation prédatrices des acteurs économiques dégradaient la périphérie des grandes villes. On en concluait à la nécessité de gérer globalement et rationnellement des ressources jugées suffisantes et à celle d'orienter spatialement les dynamiques d'exploitation du bois énergie vers des zones moins fragiles.
- Les filières d'approvisionnement en bois énergie représentaient un chiffre d'affaires global annuel de plus de 10 milliards de F CFA (de l'ordre de 1,5 milliard de F CFA pour la seule ville de Niamey). Un secteur d'importance économique majeure était délaissé et ignoré de la puissance publique.
- Les dynamiques d'exploitation prédatrices des commerçants - transporteurs excluaient les populations rurales des revenus de l'exploitation du bois énergie et les démotivaient de gérer durablement les ressources de leur terroir.

Les objectifs de la Stratégie Energie Domestique visaient à répondre simultanément à des objectifs différents :

- Assurer durablement, au moindre coût économique et social, l'approvisionnement des consommateurs urbains en bois énergie ;
- Mettre en place des modes de gestion durables des ressources naturelles exploitées pour approvisionner en bois énergie les villes.

Les méthodes identifiées à ces fins étaient les suivantes :

- La rationalisation de la demande urbaine de bois énergie ;
- Une planification et une gestion concertée globale de l'espace et des ressources par bassin d'approvisionnement ;
- Le transfert de la gestion locale des ressources aux communautés rurales.

Les instruments définis pour mettre en œuvre ces méthodes ont été les suivants :

- Panels de consommateurs urbains de combustibles domestiques
- Schémas directeurs d'approvisionnement urbains en bois énergie
- Forêts villageoises et marchés ruraux du bois énergie

Les objectifs opérationnels s'inscrivaient dans le cadre d'une démarche à plusieurs niveaux combinés :

- agir sur l'offre et la demande de combustibles domestiques / économies d'énergie et substitution, diversification énergétique, modernisation, etc.
- agir à différents niveaux spatiaux / du bassin d'approvisionnement à la gestion locale
- agir sur des acteurs économiques nombreux par des outils et des incitations économiques

A cette fin, ont été réalisés et élaborés les documents suivants :

- Des études socioéconomiques des filières d'approvisionnement
- Des enquêtes approfondies sur les comportements et les attentes des consommateurs urbains de combustibles domestiques
- Des schémas directeurs d'approvisionnement urbain en bois énergie
- Des zones prioritaires d'intervention pour le transfert de la gestion locale des ressources

La mise en place des forêts villageoises et des marchés ruraux du bois énergie s'est d'abord fondée sur la reconnaissance des communautés locales comme interlocuteurs légitimes de l'administration, puis sur l'élaboration d'un contrat de transfert de gestion des ressources locales de production de bois énergie et sur la reconnaissance des droits exclusifs de chaque communauté

sur les ressources de son terroir³, enfin sur la mise en place préalable d'un cadre législatif et fiscal incitatif pour les communautés et les acteurs économiques. Ainsi les forêts villageoises et les marchés ruraux du bois énergie au Niger ont permis de réaliser la ré-affectation légale d'un espace forestier considéré comme légitime par les communautés villageoises. S'est ainsi (re)mis en place un maillage du territoire permettant une gestion locale par les populations sur la base d'un monopole local de gestion, d'exploitation et de valorisation reconnu à ces populations à travers un marché rural bois énergie.

Chaque forêt villageoise est délimitée et permanente et il était prévu l'immatriculation foncière des forêts villageoises. Un Quota annuel d'exploitation et un plan d'aménagement constituent les bases techniques garantissant à l'administration forestière que la gestion forestière sera durable et que l'exploitation du bois énergie sera réalisée selon les règles techniques validées.

Compte tenu de l'importance économique de la filière bois énergie et de la multiplicité des acteurs, la gestion publique ne peut être qu'indirecte et basée sur des incitations économiques plus que sur des interdictions ou des réglementations. C'est ce qui justifie la mise en place d'une fiscalité forestière différentielle et d'un quota annuel d'exploitation au niveau de chaque marché rural. Ces outils économiques et réglementaires combinés ont pour fonction de gérer les acteurs de la filière et de les orienter vers des pratiques compatibles avec la gestion durable des ressources forestières du Niger.

Pour chaque marché rural, une structure locale de gestion avec le monopole local de vente du bois énergie doit assurer la commercialisation du bois énergie exploité par des bûcherons villageois groupés au sein d'une association des bûcherons.

La fiscalité forestière du bois énergie au Niger a été redéfinie dans le cadre de la stratégie énergie domestique avec :

- Une fiscalité différentielle entre l'exploitation incontrôlée (taxée au niveau 3) et l'exploitation par les marchés ruraux (marchés ruraux orientés taxés au niveau 1,5 et marchés ruraux contrôlés taxés niveau 1)
- Au niveau des marchés ruraux: une collecte de la taxe par le marché rural avec une visibilité de la taxe, une valorisation de la ressource Et la remise de coupons justifiant du paiement de la taxe
- Pour l'exploitation incontrôlée: acquittement de la taxe auprès des services déconcentrés de l'environnement et vérification du paiement de la taxe par le contrôle forestier permanent (24 h / 24) à l'entrée en ville
- Une répartition du produit de la taxe forestière prélevée au niveau du marché rural entre:
 - le budget de la communauté rurale
 - des travaux forestiers (appui aux régénérations naturelles)
 - le budget de l'arrondissement (= la commune)
 - le fonds du contrôle forestier
 - le budget de l'Etat
- Une autre répartition de la taxe forestière sur l'exploitation incontrôlée (entrée en ville) entre:
 - le fonds du contrôle forestier
 - le budget de l'Etat

Pour être viable l'aménagement forestier en gestion villageoise doit être aussi simple que possible et basé sur des règles compréhensibles et applicables par tous. Il en résulte que le coût de l'aménagement des forêts villageoises au Niger est de moins de 5 US \$/ha. Il peut être pris en charge dans le cadre des revenus locaux de la fiscalité différentielle sur le bois énergie.

UN BILAN GLOBALEMENT POSITIF

L'impact de la mise en œuvre de la stratégie énergie domestique a été incontestablement positif à la fois pour les forêts du Niger et pour les populations rurales. Néanmoins ces réussites posent problème à l'Administration forestière :

- Les marchés ruraux ont anticipé et en quelque sorte ouvert la voie à la décentralisation politique,
- mais ils ont induit une perte de « pouvoirs » et de revenus « parallèles » pour les agents de terrain de l'administration forestière,
- qui n'ont pas encore été compensés par une revalorisation de leurs rôles techniques.

La SED s'est révélée être un outil efficace de gestion forestière :

- Il n'y a pas eu de dégradation des forêts villageoises créées par les marchés ruraux ;
- Les forêts villageoises aménagées ont une productivité plus forte que les forêts non aménagées.

LES ASPECTS NÉGATIFS D'UN BILAN « GLOBALEMENT POSITIF » :

On peut noter un certain nombre de dysfonctionnements ou d'échecs de la Stratégie Énergie Domestique du Niger :

- L'opposition constante depuis près de 10 ans, de certains agents de terrain (ou même de l'administration centrale) de l'administration forestière reste préoccupante.

³ En fait : élaboration d'un dossier d'agrément de création d'un marché rural de bois énergie qui, d'une part donne des droits d'exploitation et de commercialisation de cette ressource aux villages organisés en structure locale de gestion et d'autre part demande à ces mêmes villageois de gérer durablement les massifs forestiers par le respect de plans d'aménagement qui s'appuient sur des quotas d'exploitation et délimitation des zones mises en exploitation

- Un contrôle forestier quasi-inexistant sur l'exploitation incontrôlée (10 %) qui entraîne des problèmes de concurrence des produits de l'exploitation incontrôlée vis à vis des produits issus des marchés ruraux organisés pour une production durable.
- Du fait de ce qui précède, une fiscalité différentielle qui fonctionne *à rebours*.
- Des agents forestiers qui agissent à contresens: les «prélèvements illégaux» des agents forestiers sur les caisses villageoises des SLG et traduisent soit un réel déficit de formation ou plus grave une volonté délibérée (ou non) de « casser » une politique sectorielle nationale. Le rôle de l'administration centrale dans l'affirmation de cette politique reste à renforcer.
- Quelle volonté politique et quelle modernisation de l'administration de l'Environnement ?
- Des marchés ruraux en situation précaire :
 - Pas de personnalité juridique pour les SLG, structures locales de gestion ;
 - Pas d'immatriculation foncière des forêts villageoises.
- Et pourtant les marchés ruraux ont continué à exister et à fonctionner après l'arrêt du projet Energie II avant la mise en place du PED et jusqu'à aujourd'hui : il y en a actuellement plus de 200 au Niger.

Les différents niveaux d'efficacité du contrôle forestier et de la perception des taxes forestières au Niger sont très contrastés :

- *Au niveau des marchés ruraux :*
 - une efficacité remarquable de l'ordre de 100%
 - résultant de la perception à la source et du système des coupons
- *Au niveau du contrôle à l'entrée en ville :*
 - une intervention réservée à l'administration forestière
 - une efficacité faible (niveau moyen 10 % sur 10 ans après un maximum de 50% en 1993 (consécutif à une intervention financière et organisationnelle forte du projet Energie II).

Le montant total des taxes collectées annuellement est resté sur la dernière décennie insignifiant au Niger, sans commune mesure avec l'importance économique réelle du secteur dans l'économie nationale

Au Mali, le bilan est plus difficile à établir de façon précise, mais de nombreux éléments du bilan du Niger sont valides aussi dans ce pays. La réforme de la fiscalité forestière a conduit à la mise en place d'un système de contrôle forestier encore moins efficace qu'au Niger et aucun bilan n'a été établi de façon un tant soit peu sérieuse dans ce pays au contraire de ce qui a été fait au Niger. Par contre le Mali a réalisé la mise en place de plusieurs centaines de marchés ruraux du bois énergie (entre 300 et 400) en confiant à des opérateurs privés sous contrat, les actions techniques de concertation avec les populations et de réalisation des tâches techniques de délimitation des forêts villageoises et de préparation des plans d'aménagement forestiers villageois. Ceci a permis de dépasser les moyens et les effectifs limités de l'administration forestière.

En revanche, ces différents points se traduisent par une différence dans le fonctionnement des marchés ruraux au Niger et au Mali, et notamment en ce qui concerne des problèmes d'approvisionnement en bois pour les marchés ruraux du Mali.

Caractéristiques générales des structures forestières étudiées

Le choix a été fait de commencer le travail de modélisation sur les brousses contractées qui représentent un des principaux faciès forestiers au Niger, au Mali et dans la zone sahélienne.

Etat des connaissances acquises sur les brousses contractées des plateaux de l'ouest nigérien

L'opération de recherche a pu bénéficier de la participation d'Aboubacar Ichaou, chercheur forestier à la Faculté Abdou Moumouni de Niamey et à l'INRAN qui a récemment soutenu sa thèse sur l'écologie des formations contractées de l'Ouest Nigérien.

Caractéristiques générales des structures forestières contractées

Les travaux réalisés au Niger depuis une dizaine d'années ont associé outre le docteur Ichaou, l'IRD, et le Cirad-Forêt à travers le projet Energie II, Energie domestique puis récemment le PAFN, projet d'aménagement des forêts naturelles du Niger.

Ces travaux ont permis de caractériser les formations forestières contractées sur la base des principaux critères suivants :

- (1) Configuration structurale particulière :
 - Zones nues + Zones boisées ;
 - Pentes faibles longitudinale et latérale
 - (formes : linéaires et les structures affines voisines)
- (2) Fonctionnement de types : biologique et/ou hydriques et rarement éolien
- (3) Typologie marquée par trois grands groupes de faciès : formations végétales (climat et anthropisation) + Espèces dominantes
 - faciès de végétation contractée linéaire
 - faciès de végétation diffuse
 - faciès de végétation à organisation mixte
- (4) Composition avec une dominance ligneuse ou herbacée et/ou une combinaison des deux
- (5) Importance et enjeux pour le Niger :
 - 5 millions d'ha (3/4 des surfaces forestières productives)
 - 70% production en bois-énergie (principaux centres urbains) ;
 - Réserve foncière et zone pastorale

Synergie d'efforts de recherches fondamentale et appliquée (dans certaines parties du monde)

Ces travaux sont à relier à des travaux importants dans d'autres parties du monde sur des milieux naturels similaires :

- Brousses Tigrées en Afrique de l'Ouest
- "Vegetation arcs" ou "Stripes" en Afrique de l'Est et au Mexique
- "Grove - intergrove pattern" en Australie.

Problématique générale traitée au Sahel

Ensemble construit autour des principaux modes de contraction de la végétation et de leurs logiques de fonctionnement supposées différentes (Plans biologique et hydrologique).

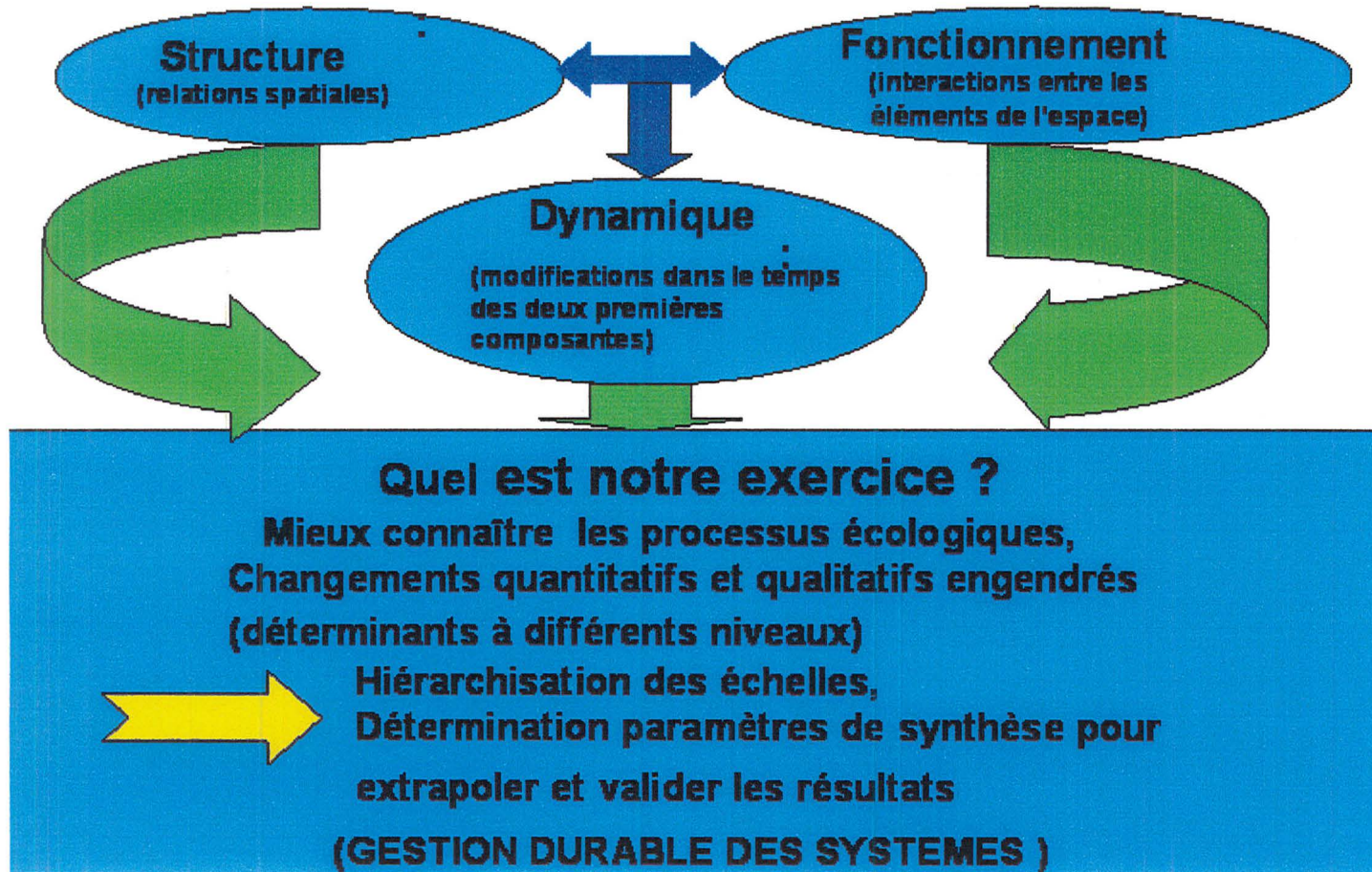
Les questions scientifiques

- Les questions centrales généralement posées :
 - (a) Y-a-t-il une configuration donnée de facteurs écologiques pour qu'une structure contractée soit plus favorable que d'autres ?
 - (b) les niveaux de contraction seraient-ils fonction des cadres physiques considérés ou des péjorations climatiques connues dans la zone ?
- Des questions de second ordre :
 - toutes posées dans le but de discuter la diversité, la résilience, la productivité et la stabilité de ces systèmes (en tenant compte des contraintes climatiques et anthropiques)

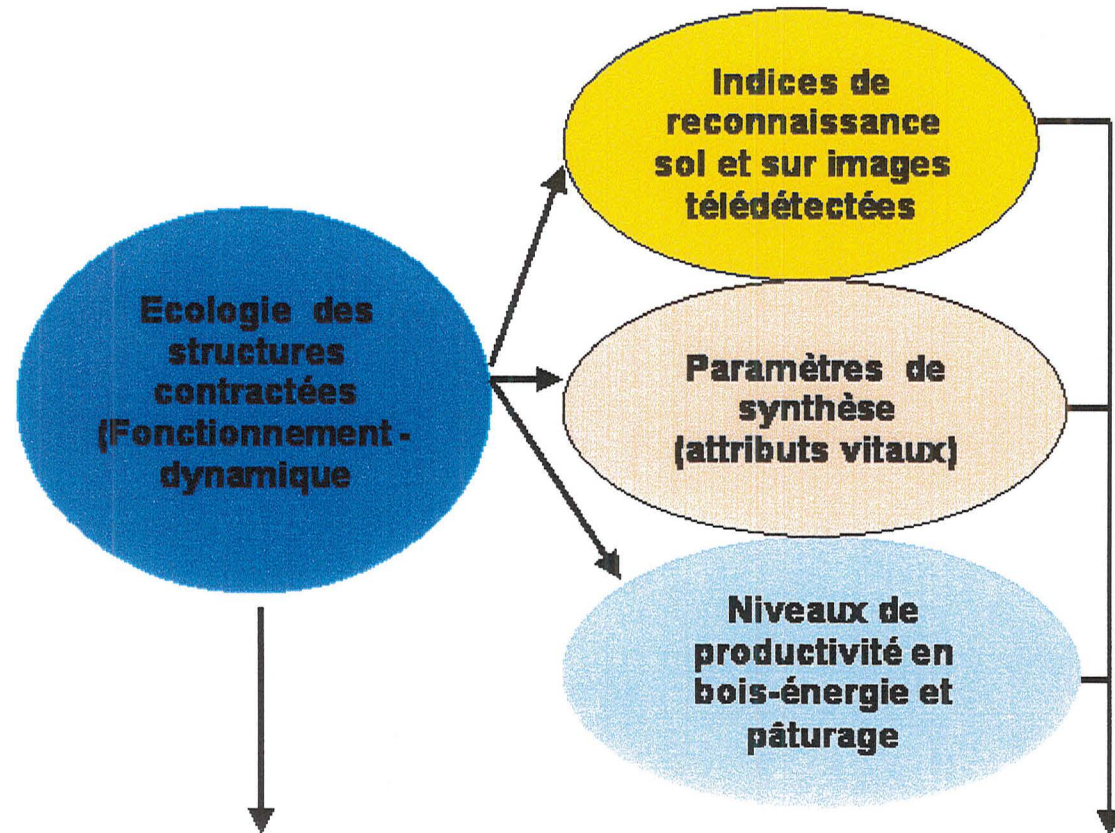
Importance et intérêt de cette problématique :

- Curiosité du monde scientifique face à une écologie de paysage très typique
- Concerne les Systèmes de production agro-sylvo-pastoraux de nombreuses populations sahéliennes
- Couvre :
 - une bonne partie de l'Afrique de l'Ouest et de l'Est ;
 - le Mexique et l'Australie

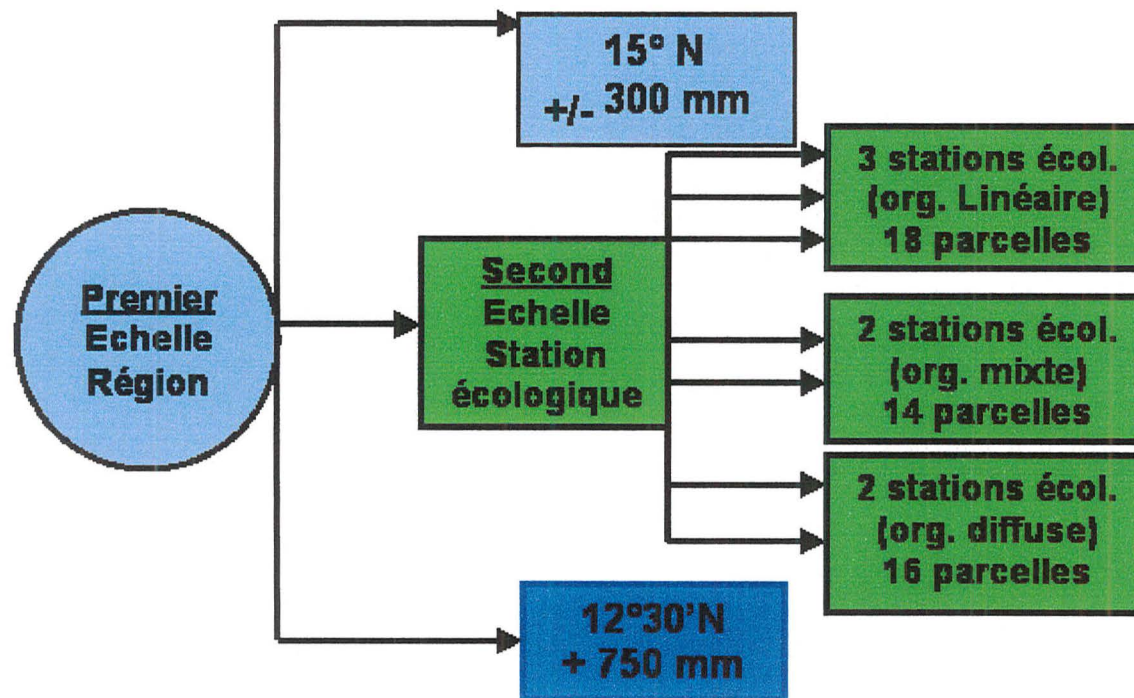
Base de travail : 3 concepts d'écologie du paysage

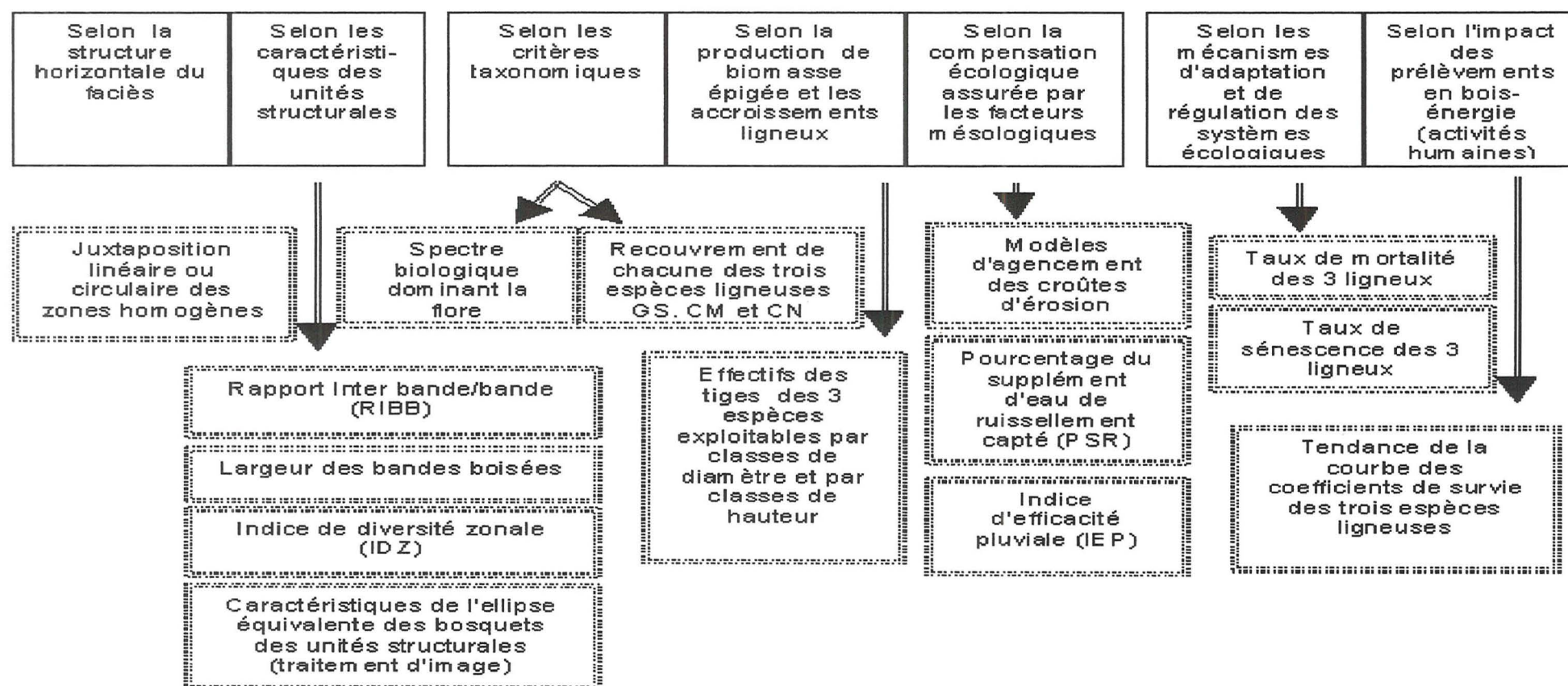


Objectifs visés : Relier à une échelle régionale



Dispositif et échelles de travail





Critères et attributs vitaux définis dans l'optique de la caractérisation ou la classification des faciès de brousses contractées.

CONCLUSION

- ✦ **Les résultats d'expérimentations et de mesures effectuées sur les ligneux (phytomasse, productivité, croissance),**
- ✦ **La prise en compte de la flore herbacée (associations, exigences écologiques) permettent donc de conclure :**

RESULTATS

- L'écologie des brousses tigrées : la recherche permet d'éviter des erreurs d'appréciation de la dynamique des brousses tigrées :
 - Ecologie tout à fait particulière déterminée principalement par le facteur hydrique.
 - Les écosystèmes contractés ne sont pas dégradés et donc ne justifient pas les projets de reboisement coûteux qui peuvent dans certains cas aller à l'encontre du but recherché et engendrer une dégradation des formations forestières dans les bandes boisées en perturbant l'approvisionnement en eau de pluie.
 - Les recherches conduites au Niger sur la compréhension de l'écologie des brousses tigrées ont accompagné la mise en place de la nouvelle politique forestière centrée sur la gestion des formations naturelles et la multiplication des marchés ruraux du bois énergie transférant la gestion de ces ressources aux communautés villageoises.
- Les structures typiques en bandes assurent une correction du facteur pluviométrique et permettent à la végétation de se développer dans des conditions écologiques a priori défavorables (300 à 400 mm de pluie /an).
 - Les bandes permettent de recréer, par leur structure, des conditions écologiques similaires à celles trouvées dans des zones plus favorables où la pluviométrie dépasse 800 mm/an.
- Il en résulte des niveaux de productivité relativement élevés ainsi qu'une stabilité de ces formations végétales particulières des zones semi-arides, ce qui remet en question la vision qu'on en avait en les assimilant à une dégradation du milieu. La stabilité serait d'autant plus grande que les trois espèces ligneuses dominantes semblent se multiplier principalement de manière végétative (rejets de souche, marcottes, drageons) et très peu générativement (semis naturels).

CONCLUSIONS

- Les systèmes contractés typiques des zones climatiquement défavorables (300 à 400 mm de précipitations), recréent par leur structure des conditions écologiques similaires à celles trouvées dans des zones plus favorables (800 mm)
- Il résulte des niveaux de productivité relativement élevée dans ces structures contractées linéaires qui présenteraient aussi des seuils d'adaptation et stabilité non négligeables ;
- A l'état actuel des connaissances acquises sur les formations contractées dans le monde, la vision ancienne qui les assimile à une dégradation de la nature serait remise en question
- Les relations SOL-EAU- VEGETATION dont s'est dotée la nature représentent des modèles fonctionnels étonnants et typiques d'une écologie de paysages arides et semi-arides
- La principale conséquence de ce travail au niveau de la gestion forestière est de respecter la zone nue qui joue un rôle d'impluvium. Elle représente à ce titre une ressource pour les structures linéaires et mixtes. En effet, la gestion du ruissellement est indispensable au maintien des conditions écologiques particulières qui favorisent le développement de la végétation en aval.
- Ce dernier point nous paraît essentiel, car à ce jour, de nombreux aménagistes forestiers par divers processus, perturbent encore malheureusement le fonctionnement de l'impluvium de ces deux structures, ce qui peut conduire immanquablement à la disparition des bandes boisées en aval.

La première tâche à réaliser par cette équipe était de proposer et de faire valider une hiérarchisation motivée des priorités de construction des modèles à élaborer correspondant à des situations type définies sur la base des deux stratifications écologique et sociale des zones des parcelles de suivi sur les deux pays étudiés. La validation de ces priorités de modélisation devrait être effectuée par l'ensemble des partenaires du projet de recherche avec un avis prépondérant des projets de développement intéressés à disposer au plus vite d'un nouvel outil d'aide à la décision et à la planification des activités de transfert de gestion contractuelle des ressources ligneuses. Cette tâche devait être validée lors du premier atelier de travail de l'opération de recherche après le séjour sur le terrain au Niger et au Mali des deux spécialistes de l'écologie forestière et de la socio-économie pour réaliser les deux premières tâches exposées précédemment (2.1.1 & 2.1.2).

Gestion des ressources renouvelables et modélisation

La tâche à réaliser par l'équipe pluridisciplinaire de modélisation consistait à construire un premier modèle correspondant à la situation type choisie comme prioritaire. Ce premier modèle devait être élaboré par approches successives et dialogue continu entre les informaticiens et les spécialistes du terrain (forestier et socio-économiste). Cette tâche devait être réalisée à Dakar dans le cadre de l'ESP. C'est bien ce qui a été entrepris par l'équipe d'abord sur la base des informations collectées au Niger. A la suite de la phase de collecte des informations au Mali il a été mis en chantier l'élaboration d'un deuxième modèle spécifique pour le Mali

Cadre d'analyse

Les travaux conduits successivement au Niger puis au Mali ont conduit à un certain renouvellement des questions de recherche et à la formulation de nouvelles questions à la modélisation :

- La modélisation peut-elle déterminer quels peuvent être les effets et les conséquences à la fois sur les dynamiques sociales et sur les dynamiques naturelles (les pratiques des acteurs et l'évolution du couvert végétal) de différents niveaux d'efficacité du contrôle forestier et de la fiscalité différentielle sur le bois énergie ?
- Si le contrôle forestier reste inefficace, ne vaut-il pas mieux supprimer la fiscalité différentielle (cette solution a été proposée par Kerkoff à la Banque Mondiale)?
- Faut-il envisager un seul ou plusieurs modèles en fonction des questions posées ?
- On constate actuellement que les zones d'exploitation se déplacent des MR, marchés ruraux contrôlés et orientés vers des zones incontrôlées. N'y a-t-il pas là un effet sur les pratiques inverse à celui recherché ?
- Quel est l'effet sur la ressource au niveau global du bassin de collecte (et non pas au niveau de chaque forêt villageoise) de la mise en place des marchés ruraux ?
- Les incitations économiques via la fiscalité ne semblent pas fonctionner. Est-ce que ce dysfonctionnement est directement lié à la question du contrôle ?
- Le modèle montre, comme on le constate dans la réalité que l'exploitation du seul bois mort dans le cadre de l'exploitation orientée ne peut être qu'une fiction plus ou moins surréaliste. Faut-il en conséquence modifier la règle et supprimer la limitation à l'exploitation du bois mort ou supprimer l'exploitation orientée ?

Toutes ces questions renvoient en fait à un approfondissement du cadre de l'analyse de la réalité et sont donc en fait autant de questions à la recherche.

Modélisation multi-agents

De nombreux exemples de systèmes multi-agents existent ou sont en phase de mise au point pour modéliser les interactions et les représentations dans différents cas de gestion des ressources renouvelables, de l'espace et de biens en propriété commune. Plusieurs objectifs peuvent être sous-jacents à la réalisation de ces modèles depuis la compréhension du comportement du système jusqu'à la prévision d'états ultérieurs.

Dans le cadre de cette opération de recherche, on se plaçait dans le cadre particulier d'usages en vue d'une aide à la négociation et à la prise de décision. Dans ce contexte, des outils pour explorer des scénarios d'évolution d'un système en vue de la réalisation d'un objectif à long terme sont nécessaires.

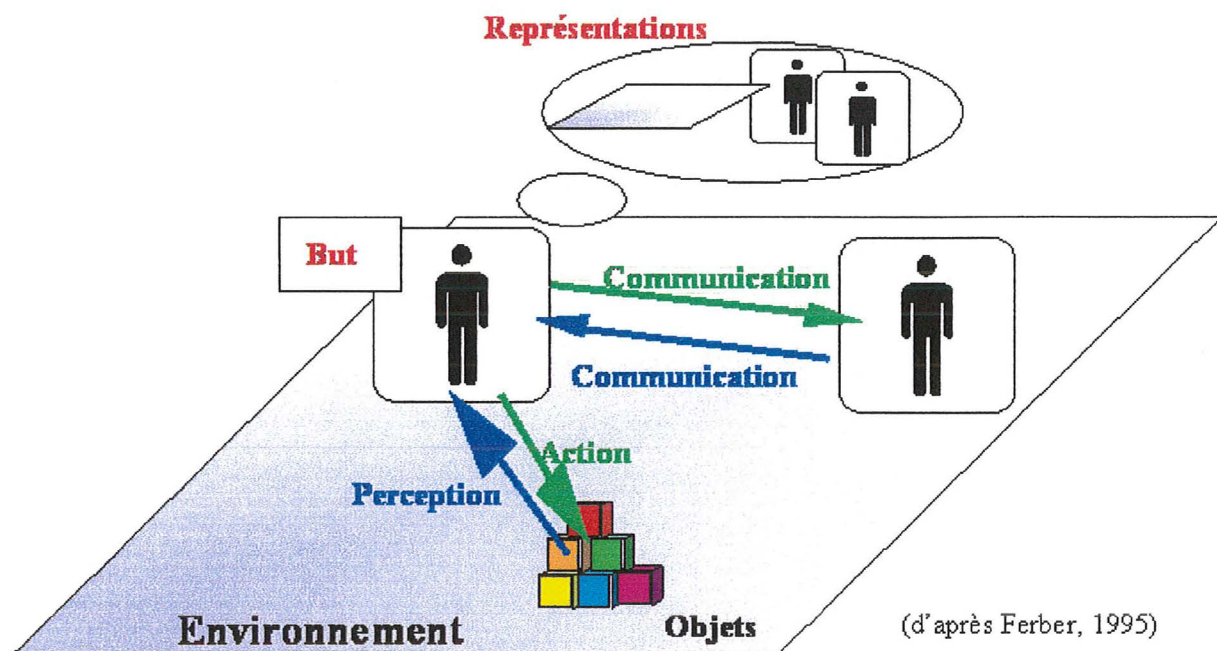
L'élaboration d'un système multi-agents pour modéliser les interactions entre les dynamiques naturelles et les dynamiques sociales est une opération qui oblige à vérifier toutes les connaissances disponibles et à passer en revue nombre d'hypothèses plus ou moins implicites qui sont généralement admises sans autre forme de procès.

Le SMA élaboré par l'équipe utilise la plateforme CORMAS mise au point et généralement utilisée par l'équipe GREEN du Cirad.

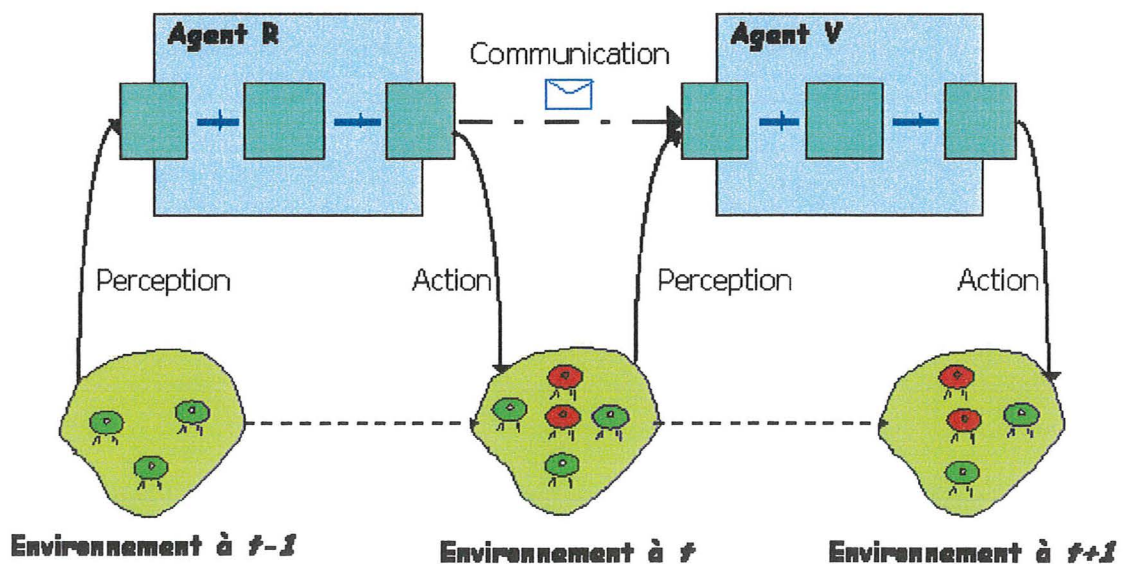
Les interactions entre agents représentées par les systèmes multi-agents sont de plusieurs types :

- interactions directes : échanges directs, communication directe
- interactions indirectes : perceptions des autres agents ; effets sur l'action d'un ou d'autres agents via un environnement commun (externalité).

Systeme Multi-Agent



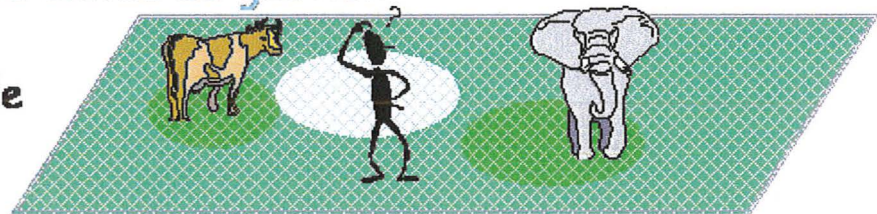
Plusieurs voies d'interaction



Systèmes Multi-Agents et gestion des ressources naturelles

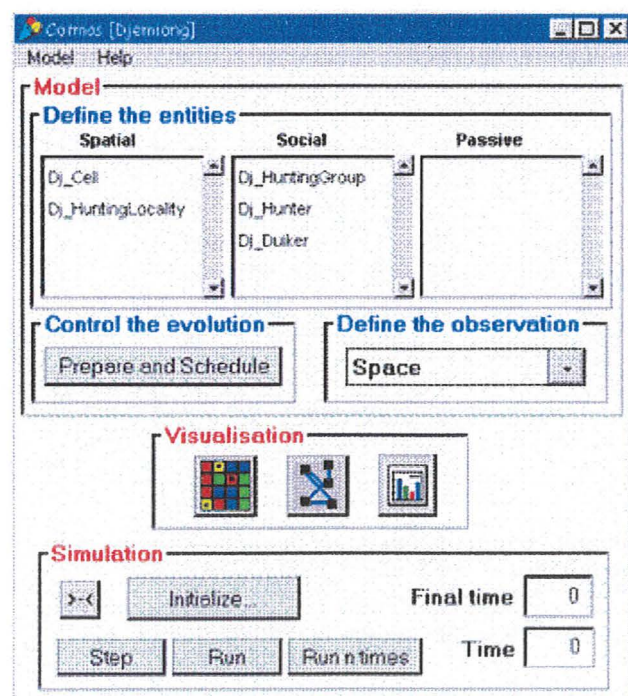
des entités
représentant des unités de gestion

une grille spatiale



des entités porteuses de ressources naturelles
ayant leur propre dynamique

Un outil: CORMAS une plateforme de simulation multi-agent



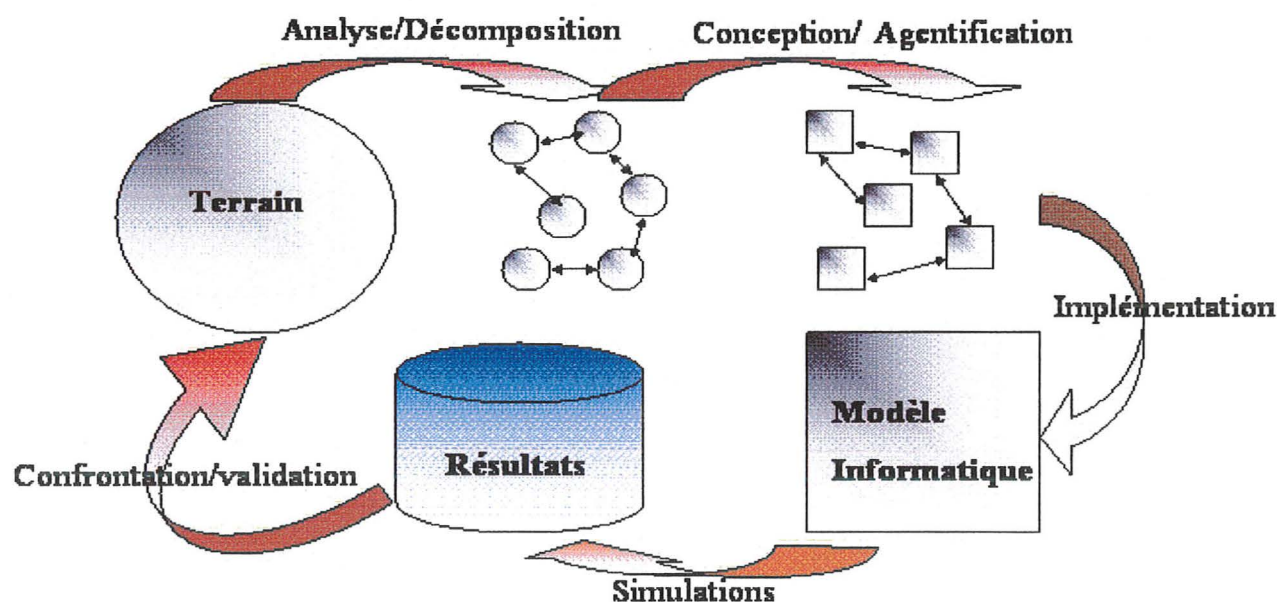
- Basé sur Smalltalk
- Dédié aux problématiques de la gestion des ressources naturelles

<http://cormas.cirad.fr>

Les éléments principaux constitutifs du SMA établi dans le cas du Niger comme dans celui du Mali sont les suivants :

- Un espace, divisés en cellules, et support de la dynamique écologique . celle ci est représentée par un modèle de croissance du bois vert, alimenté par les données issues du travail sur les placettes. Pour le modèle Niger a été dérivé de ce modèle de croissance, une disponibilité en bois mort.
- Des agents : 3 catégories d'agents sont représentés dans les deux modèles : bûcherons, transporteurs, structures locales de gestion (SLG).
- Les décisions et pratiques des diverses catégories d'agents, en s'appuyant sur les données issues des enquêtes et de la bibliographie.
- Les interactions sociales entre ces catégories d'agents pour représenter la dynamique sociale d'exploitation du bois énergie :
 - via les règles de gestion et le contrôle : quotas, taxes, rotation d'exploitation....
 - via l'environnement commun

Processus



Le schéma ci-dessus présente le processus d'élaboration, de test et de validation du SMA. Comme il a été indiqué précédemment, l'équipe a choisi au cours du processus de l'opération de recherche d'élaborer non pas un mais deux SMA, un pour le Niger et un pour le Mali.

Modèles et résultats

Les deux modèles multi-agents élaborés relèvent de deux logiques différentes :

- Le modèle DesertificationNiger est un modèle qui reprend la configuration représentée du bassin d'approvisionnement de la ville de Niamey (une seule demande, celle de la ville) et est calibré en fonction des enquêtes de terrain réalisées pendant le projet et des données bibliographiques (7 espaces forestiers fournissant la demande de la ville). Ce modèle considère l'exploitation du bois mort et du bois vert.
- Le modèle DesertificationMali est un modèle Stylisée qui considère trois sites forestiers identiques en surface mais différenciés par la productivité ligneuse et la demande de bois s'adressant à chaque site. Ce modèle considère la dynamique de production de charbon de bois.

Résultat général de ce travail

Les principales leçons que l'on peut tirer du travail de modélisation au cours de cette opération de recherche sont les suivantes :

- La construction du modèle oblige à un examen détaillé et méticuleux de toutes les informations disponibles. Ceci contribue à rendre les informations utilisées plus fiables et plus cohérentes.
- Mais des ambiguïtés ou compréhensions différentes peuvent s'introduire, parfois subrepticement entre les chercheurs de terrain qu'ils soient spécialistes des sciences sociales ou de la biologie et le chercheur modélisateur, les mêmes termes pouvant avoir des sens différents, voire opposés dans les différents jargons scientifiques disciplinaires. De ce fait le modèle peut donner des résultats différents de ce qui serait logiquement attendu. Il convient donc d'effectuer ensuite un long travail d'analyse et de vérification des résultats avec des processus itératifs répétés.
- Dans ces conditions l'élaboration d'un SMA apparaît d'abord comme un excellent instrument de recherche en contraignant les chercheurs à approfondir leur compréhension de la réalité étudiée. La phase d'utilisation du SMA comme un instrument d'aide à la concertation et à l'élaboration de propositions de décisions est fréquemment remise à plus tard et nécessite une démarche volontaires de chercheurs réellement impliqués dans le développement.

La préparation du SMA s'inscrit donc dans une démarche de formalisation – qui a permis de faire un modèle conceptuel de la réalité à représenter en préalable à l'organisation des enquêtes

- la mise à disposition d'une boîte à outil élaborée par le Cirad pour construire ce type de modèle.
- L'analyse du produit des modèles pour identifier les informations pertinentes, concevoir de nouvelles entités représentées dans le modèle
- Voir le retour à un nouveau modèle.

Résultats des modèles

Les principaux résultats d'ores et déjà disponibles sont les suivants :

- Les modèles réalisés permettent de représenter les fonctionnement de chacun des outils (taxe, quotas,) de façon séparée et de discuter l'intérêt de coupler ces outils (Mali, Niger).
- Ils illustrent de quelle façon les marchés contrôlés jouent un rôle de réserve de bois pour les transporteurs en saison humide, amenant ainsi les villageois à ne pas disposer de revenus réguliers du bois exploité (Niger). Au Mali, la répercussion de la fiscalité sur le prix du sac de charbon fait que, sur les marchés contrôlés, le prix du sac de charbon hors taxe est inférieur au prix sur les marchés incontrôlés. En conséquence les ventes ne s'effectuent pas via le marché rural contrôlé.
- Le degré du contrôle apparaît comme un paramètre déterminant ; avec un taux de contrôle très faible sur l'incontrôlé, les marchés ruraux contrôlés en faible nombre procurent plus de taxes que les marchés incontrôlés : on montre ainsi le fonctionnement « à rebours » de cette fiscalité selon le taux de contrôle.

Conditions et limites des premiers résultats

La mise au point de ces deux types de modèles a permis de s'interroger sur la définition des échelles à considérer du point de vue des dynamiques écologiques, économiques et sur la nature des institutions qui devaient être représentées dans un tel modèle :

- ainsi au Niger, la dynamique écologique est envisagée au niveau du bassin d'approvisionnement d'une ville mais les ressources sont affectées au niveau local (terroir villageois). On n'a pas considéré dans le modèle réalisé, le rôle des communes et comment il peut influencer la dynamique de l'exploitation de la ressource à terme...
- au Mali, la fiscalité forestière est une fiscalité communale. On pourrait s'attendre à travailler à cette échelle. Or, il n'existe pas encore de décret d'application. On a donc travaillé à l'échelle de 3 massifs forestiers villageois mais les villages ne reçoivent pas de recettes de cette fiscalité sur les ressources qu'on leur demande de gérer.

Utiliser le SMA pour évaluer des scénarios ou des solutions possibles ?

L'utilisation du SMA pour évaluer les solutions possibles est une question importante qui fait réellement débat au sein de l'équipe avec en gros deux sensibilités différentes qui s'expriment comme suit, dans le contexte des recherches sur le développement :

- D'une part, pour schématiser, l'utilisation du SMA peut s'inscrire dans un processus de recherche dans le cadre d'une approche heuristique. Il ne s'agit pas de voir l'outil SMA utilisé pour l'aide à la prise de décision, en tant que système-expert. Cette phase est particulièrement importante quand il s'agit d'intégrer des compétences disciplinaires sur une question.
- D'autre part, une seconde utilisation de ces modèles consiste à utiliser le SMA (associé ou non à des jeux de rôles) comme un instrument d'aide à la concertation avec les décideurs pour améliorer le processus de prise de décisions collectifs dans une approche prospective sur la base de scénarios alternatifs (mais à cent lieues toute fois de toute idée de prévision). Cette utilisation est donc liée à une implication plus directe dans le développement, pendant l'élaboration et l'usage du modèle.

Au stade des travaux réalisés par les équipes, les modèles ont été élaborés dans la première optique. Il n'est pas exclu que leurs perspectives d'usage n'intègrent pas un usage en aide à la concertation, pour l'analyse des règles et pratiques de gestion.

Les deux approches peuvent très bien être utilisées de façon conjointe. La démarche proposée par l'équipe Green du Cirad est celle d'un accompagnement des processus de décision et de négociation. En testant des scénarios alternatifs élaborés par les acteurs et en introduisant dans le modèle des comportements observés, il s'agit d'appuyer une négociation avec une portée maïeutique et prospective (une charte de la modélisation d'accompagnement a été établie en ce sens)

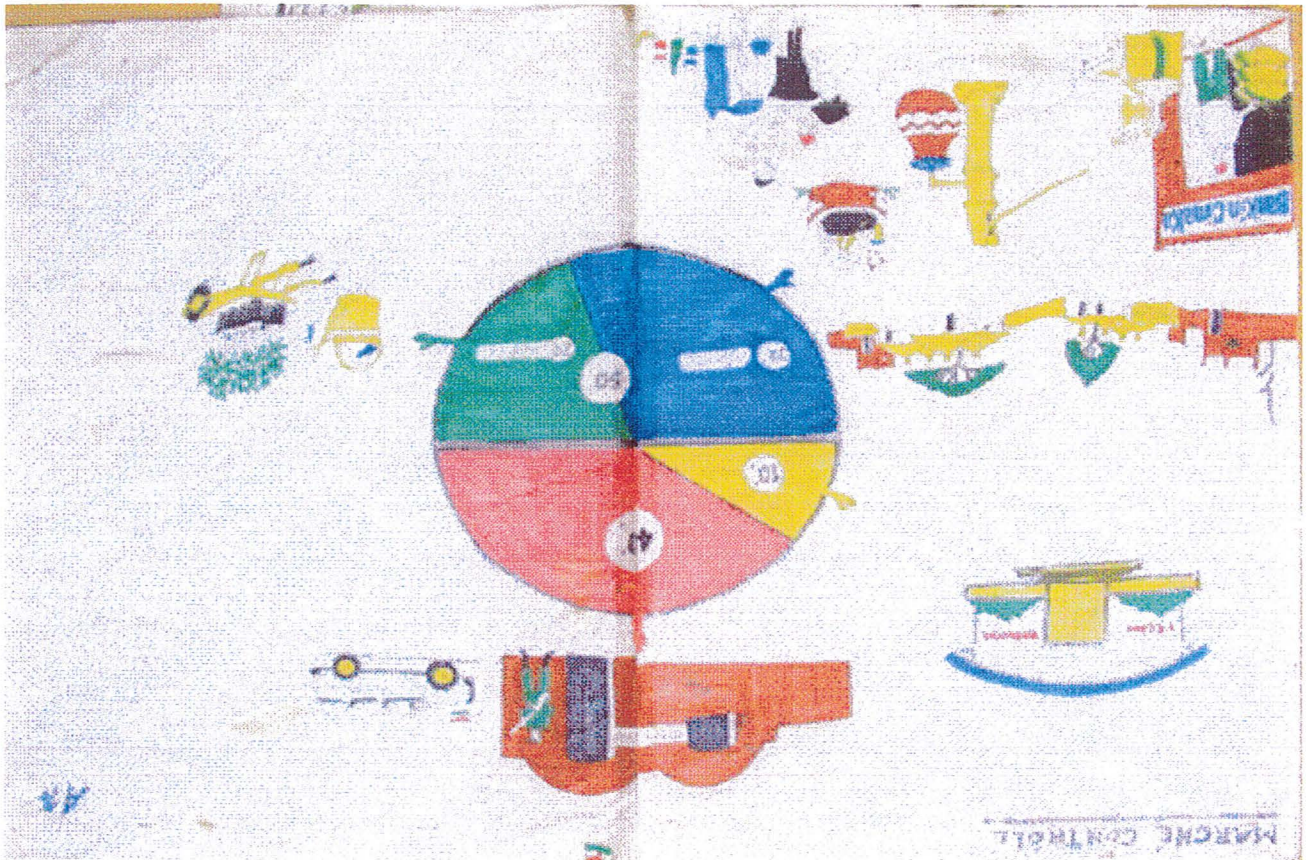
Le modèle Niger

Il apparaît donc nécessaire maintenant d'exposer plus en détail le modèle Niger, les leçons qu'il permet de tirer et les perspectives qui sont actuellement ouvertes pour son utilisation.

Structure du modèle

Le modèle Niger est structuré de façon classique comme indiqué précédemment :

1. Les agents :
 - Paysans- bûcherons :
 - arbitrage entre les deux activités : agriculture/coupe de bois .
 - Pas de prise en compte des bûcherons salariés des transporteurs
 - Structure locale de gestion sur les marchés ruraux :
 - information sur ce qui est produit
 - respect des règles (quota/perception taxe).
 - Commerçants transporteurs :
 - information sur la zone, les autres acteurs et les règles;
 - pas de limite d'achat.
2. l'espace et les ressources
 - Bassin d'approvisionnement :
 - Typologie des sites (7) selon type de brousse (3 types) et modes de gestion (3 types)
 - Dynamique de la végétation : bois mort/bois vert
 - pour utiliser données de terrain (massif forestier, parcelles, distance, espace agricoles
 - Données écologiques de la littérature (faciès, productivité, renouvellement)



Hypothèses retenues pour le modèle

Les principales hypothèses retenues pour l'élaboration du modèle Niger sont les suivantes :

- La capacité de coupe est fonction de la pluviométrie et est homogène pour tous les bûcherons. Cette hypothèse apparaît comme l'hypothèse principale.
- Toute la production de bois énergie est vendue dans l'année. Cette hypothèse est en fait le corollaire de la dernière hypothèse présentée ci-dessous.
- Pas de limitation des capacités d'achat des transporteurs. Cette hypothèse est aussi un corollaire de la dernière hypothèse ci-dessous.
- Les stocks sont donc des stocks temporaires. Cette hypothèse est encore un corollaire de la dernière hypothèse ci-dessous.
- Les prix sont différents selon les sites mais fixes dans le temps. Ceci correspond plus ou moins à ce que l'on observe dans la réalité.
- La consommation n'est pas prise en compte comme contrainte de la production. Ce dernier point mérite une explicitation. Dans la réalité la consommation globale du bois énergie, produit de première nécessité et d'usage pluriquotidien, pour une agglomération comme Niamey est à peu près stable (hormis de faibles variations saisonnières). Le niveau des prix dépend directement du pouvoir d'achat de la population (et en particulier de la strate à faible revenus) et les quantités globales exploitées ne sont pas réellement une variable d'ajustement du système.

Les agents du modèle

Agent Bûcherons

- Bûcherons :
 - 177 au total (nombre variable selon les sites)
 - Capacité de coupe
 - Une activité agricole et une activité de coupe selon la saison
- Pratiques = décision d'exploitation du bois dépend de
 - La position sur un marché rural orienté ou contrôlé ou en site incontrôlé, qui permet l'exploitation bois mort et/ou bois vert dans la limite du quota
 - Déplacement au hasard sur cellule où bois disponible
 - dans la parcelle désignée par la SLG (rotation)
 - Ou dans site incontrôlé
 - L'effet de la pluviométrie sur rendements agricoles qui influe sur la capacité de coupe mensuelle (3,5 ou 10 stères/an);

Agents Commerçants

- Commerçants - transporteurs :
 - 3 au total
 - Achat du bois sur les sites
 - Paiement de la taxe sur le bois acheté et transporté à chaque SLG
- Pratiques = décision d'achat en fonction de :
 - l'accessibilité des sites
 - Le prix du bois
 - La saison

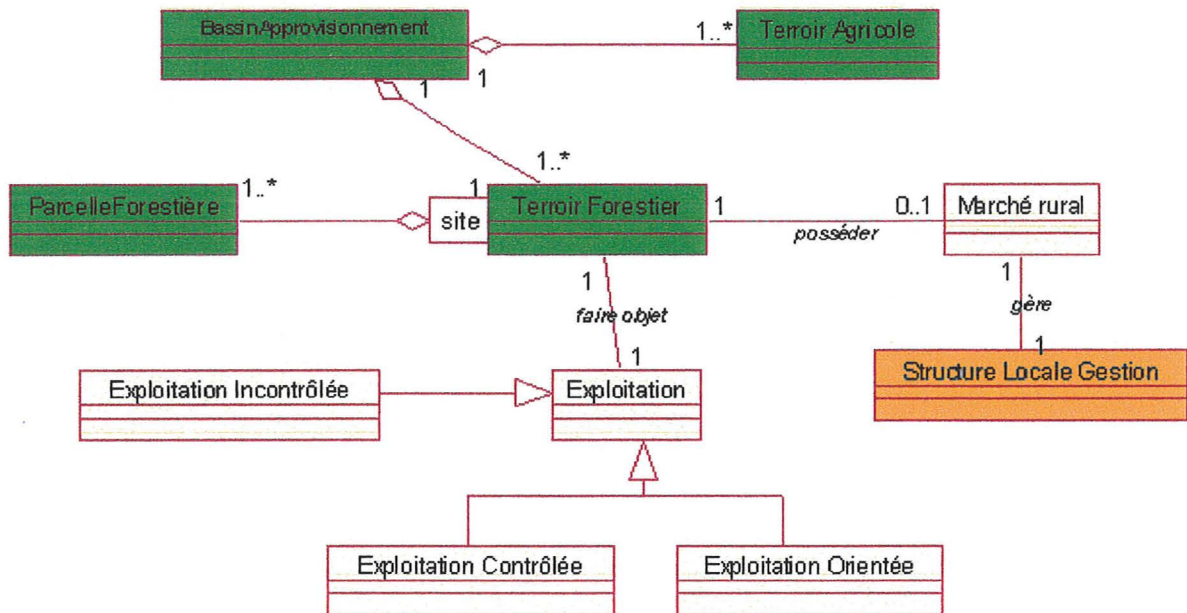
Agent Structures locales de gestion

- Une par marché rural
- Fixation du quota
- vérification si le quota est atteint par les bûcherons membres de la SLG
-
- Les sites
 - Indique la parcelle à exploiter

C'est sur cette base que le SMA Niger a été élaboré.

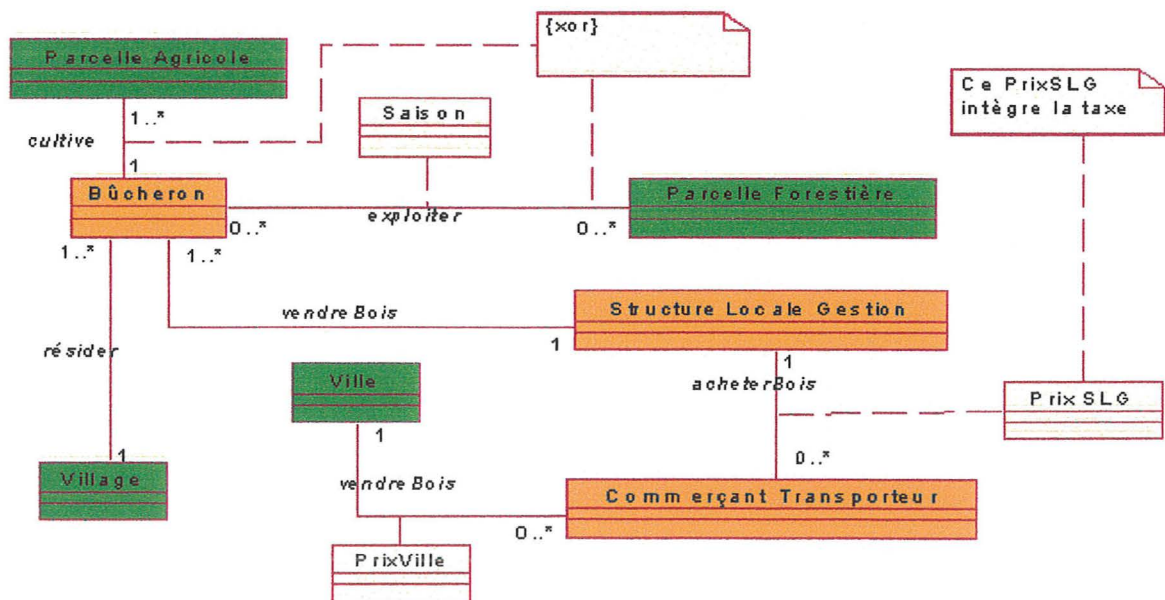
Modèles: Diagrammes de classes colorées

Bassin d'approvisionnement de Niamey

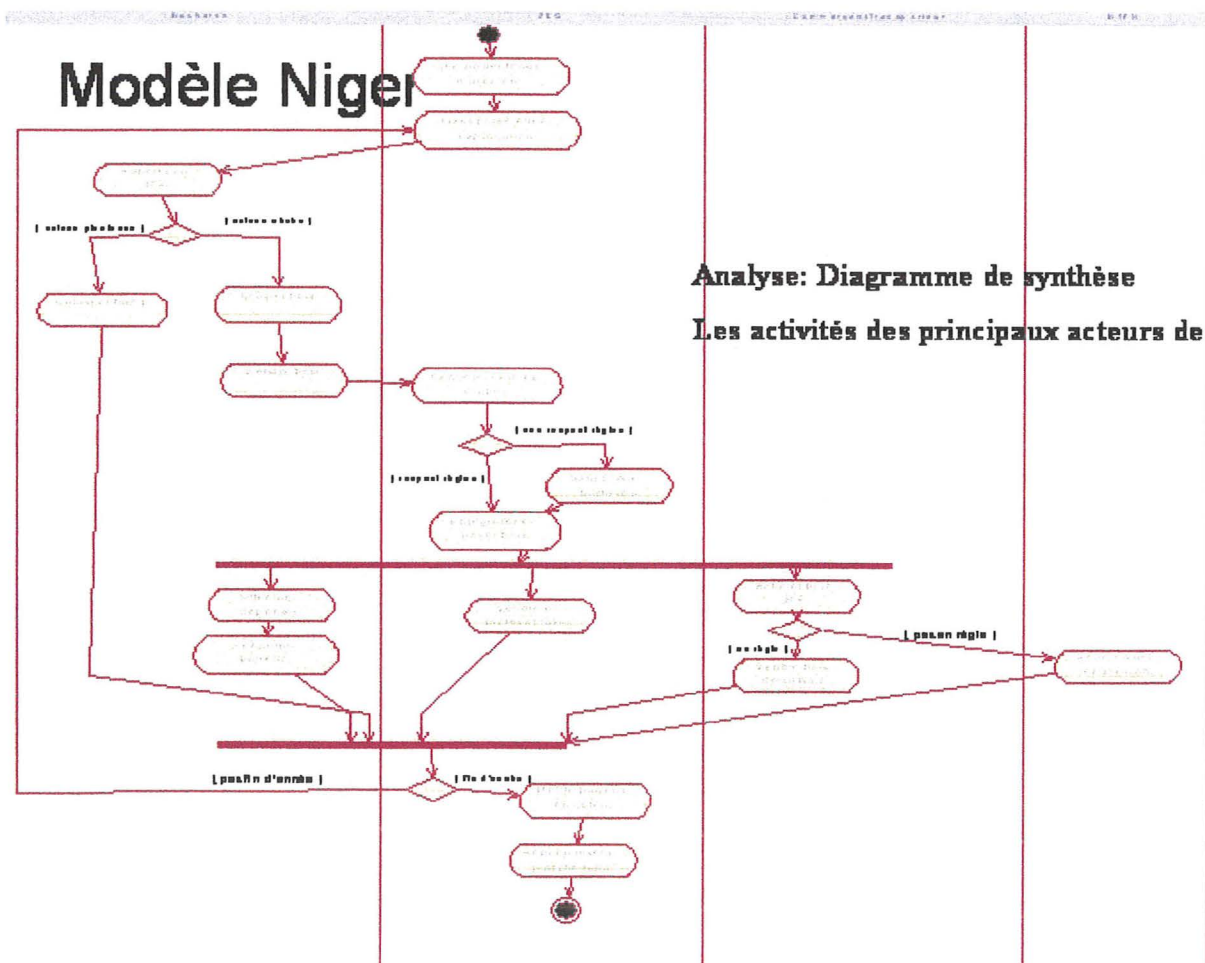
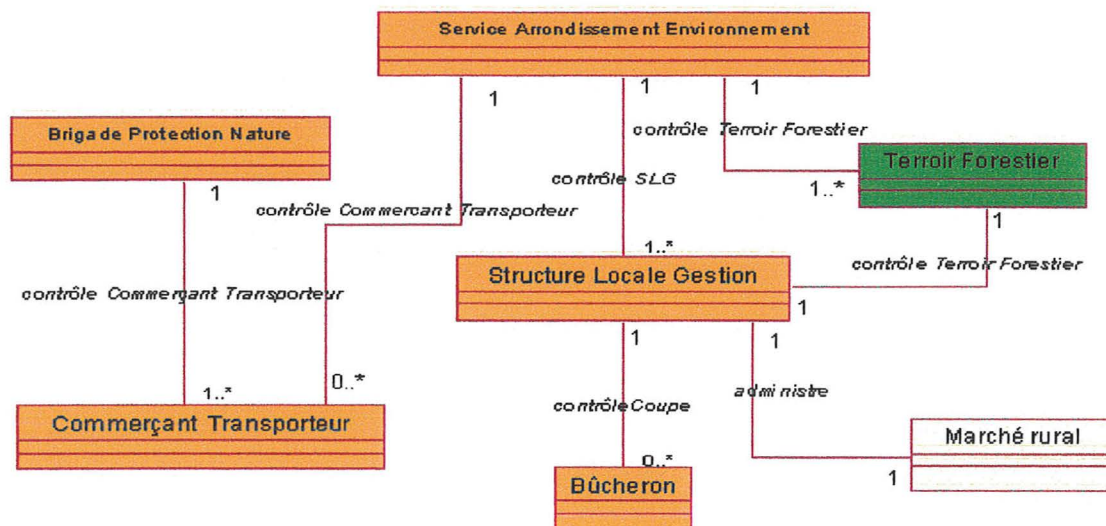


Modèles: Diagrammes de classes colorées

Exploitation Bois/Charbon



Contrôle / Régulation

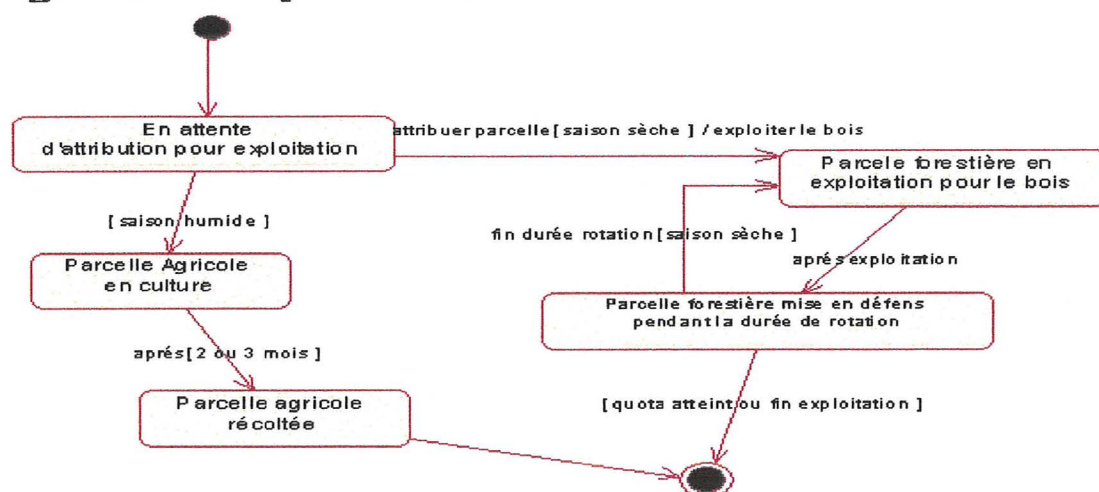


Simulations

Les différentes simulations ont été réalisées selon divers scénarios sur la base d'un certain nombre de typologies que nous allons détailler.

Modèle Niger

Diagramme de synthèse: La Parcelle



		Dorobobo	Banizoumbou	Kouré	Kirtachi Babangata	Tientiergou	Bango	Mossipaga
1) Type de marché ***		contrôlé	incontrôlé	orienté	contrôlé	contrôlé	orienté	orienté
2) Distance / Niamey (km)***		140	85	60	150	85	75	105
4) Surface terroir agricole (ha)***		3350	2000	7705	3518	5156	1950	681
5) Surface terroir forestier (ha)***		2800	750	4669	5156	3697	1365	7871
6) Nombre total de cellules		256	88	327	409	448	162	496
7) Nombre de parcelles/massif***		10	-	6	7	6	4	6
8) Productivité/cellule (stère)		179	414	375	144	714	134	252
9) Potentialités ($\varnothing > 4\text{cm}$ en stère) *		10,38	51	48	48	62	48	48
10) Potentialité totale du massif au départ (stères)***		45780	36429	122510	58782	320000	21704	125149
11) Productivité bois mort (Stère/ha de plateau)*		0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
12) Faciès*		F1	F1	F2	F2	F3	F3	F3
13) Accroissement du peuplement (Stère/ha de plateau/an)*	Sans exploitation	0,92	0,92	0,51	0,51	0,59	0,59	0,59
	Exploitation par furetage	1,47	1,47	1,127	1,127	1,588	1,588	1,588
	Coupe rase	0,451	0,451	0,383	0,383	0,422	0,422	0,422

Dynamique du modèle

Le modèle est construit sur la base d'un certain nombre de règles qui structurent sa dynamique interne :

- Pas de temps mensuel (saison)
- Simulations de la dynamique de la ressource, de l'exploitation et de l'achat du bois sur 30 ans
- Règles de gestion (à redéfinir) :
 - Quota : porte sur l'exploitation
 - Taxe porte sur l'achat et le transport du bois et est variable selon les sites (différentielle)
 - Contrôle sur le transport et le paiement de la taxe

Scénarios

Les scénarios sont construits sur la base d'un certain nombre d'hypothèses faisant varier un certain nombre de paramètres correspondant à des changements des règles de gestion et d'exploitation de la ressource.

- Scénarios
 - Simulation des choix possibles de règles applicables à la filière : quota, taxe, contrôle
 - Prise en compte d'un paramètre de pluviométrie
- Résultats
 - Effets sur les différents acteurs
 - Effet sur la ressource (à réaliser)

Plusieurs jeux de simulations

Il a été réalisé plusieurs jeux de simulations.

- 1er jeu de simulations
 - 3 typologies de site
 - Paramètres : pluviométrie mauvaise ou bonne (2)

6 simulations

- Second jeu de simulations
 - la typologie de site « réalité »
 - Paramètres pluviométrie (bonne mauvaise), taxe (deux niveaux), contrôle (deux niveaux de contrôle jouant sur la perception des taxes)

8 simulations

Les scénarios choisis

- **Scénario 1 (Ref) : « la cible »**
 - Taxe sur tous les sites
 - Quotas sur contrôlé et orienté

Toutes les règles sont respectées
- **Scénario 2 (Cii) : « actuel »**
 - La taxe est perçue à 10% sur l'incontrôlé
 - Autres paramètres identiques à scénario de référence

Règle non respectée sur l'incontrôlé

Il manque deux scénarios

- **Scénario 3 :**
 - Taxe doublée sur l'incontrôlée
 - Autres paramètres identiques à la situation de référence

Suppose que le contrôle fonctionne
- **Scénario 4 :**
 - Suppression des taxes
 - Quota sur tous les sites – incontrôlé devient orienté
 - Autres paramètres identiques à la situation de référence

La gestion par les quotas

Des critères d'observations

- Bois Coupé : exploité par site
- Achats : par les transporteurs par site
- Stocks : invendus temporaires sur site
- Taxes : payées par les transporteurs, perçues par la SLG (à redistribuer entre SLG et administration)
- Satisfaction: nombre de bûcherons qui atteignent leur capacité de coupe

Les premiers résultats

Achat transporteurs

Scénario 2 : 10 % de taxe sur incontrôlé

- L'influence de la pluviométrie
- L'importance de la règle de coupe du bois mort uniquement sur les marchés orientés : problème du long terme
- Variation annuelle de la production (pas de contrainte du marché)
- Influence de la rotation sur les parcelles en contrôlé

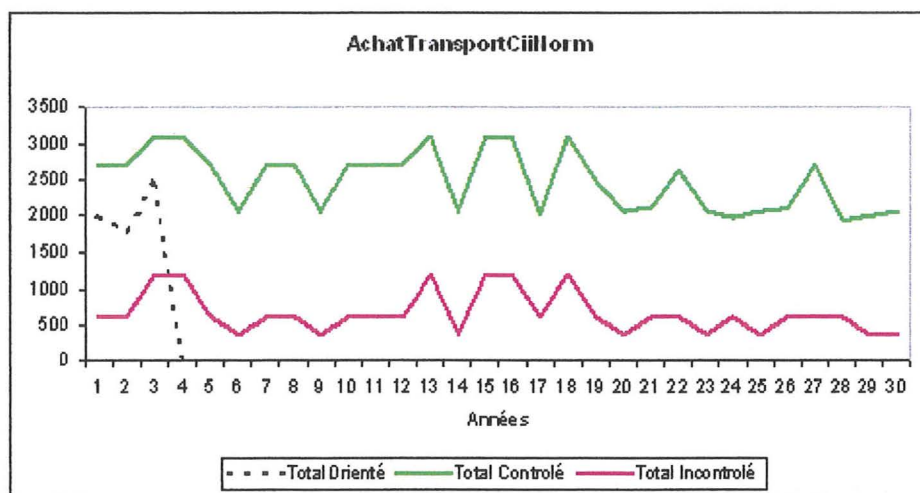
Achat transporteurs

Scénario 3 sans Taxes et sans incontrôlé

- Le quota est le seul instrument de gestion; incontrôlé devenu orienté
- Niveau de la production maintenu sur contrôlé

Stocks

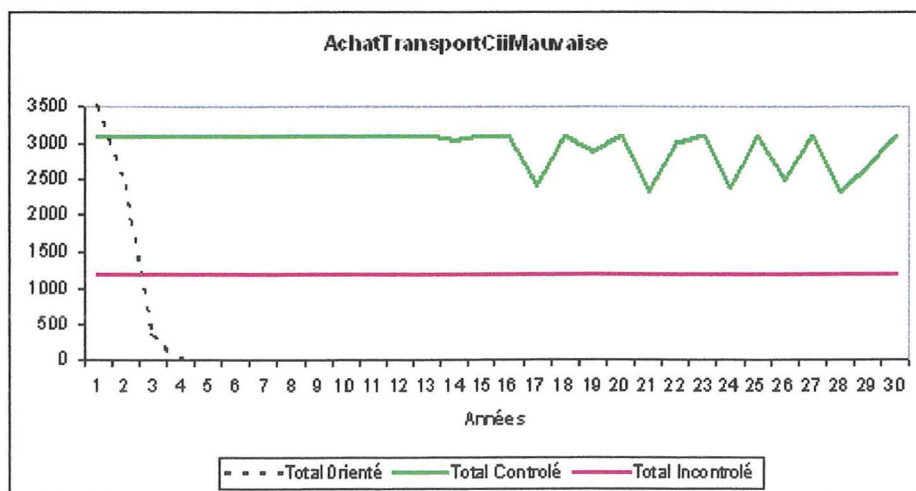
- Avec le contrôle inefficace, les stocks sont sur les marchés contrôlés
- Avec le contrôle efficace, l'ajustement sur fait par l'incontrôlé où sont les stocks

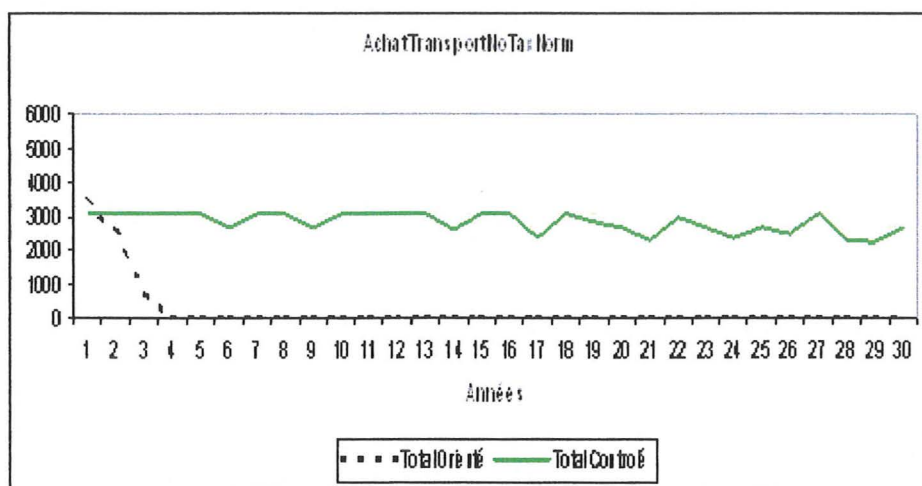


**Achat
transporteurs
Scénario 2 : 10 %
de taxe sur
incontrôlé**

Pluviométrie

**Normale
déficitaire**

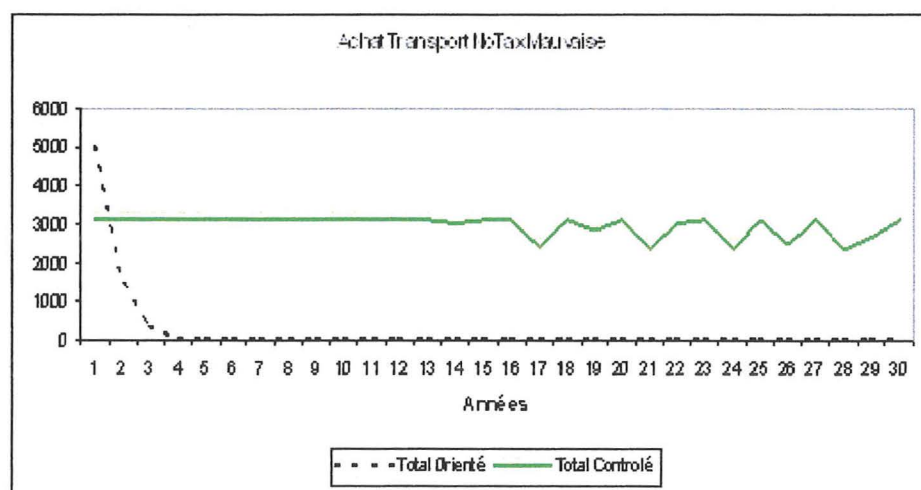




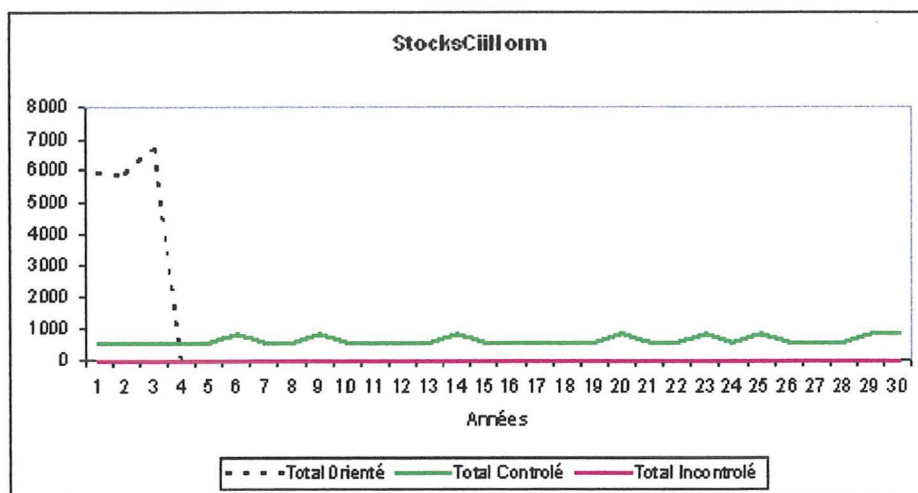
**Achat
transporteurs
Scénario 3 sans
Taxes et sans
incontrôlé**

Pluviométrie

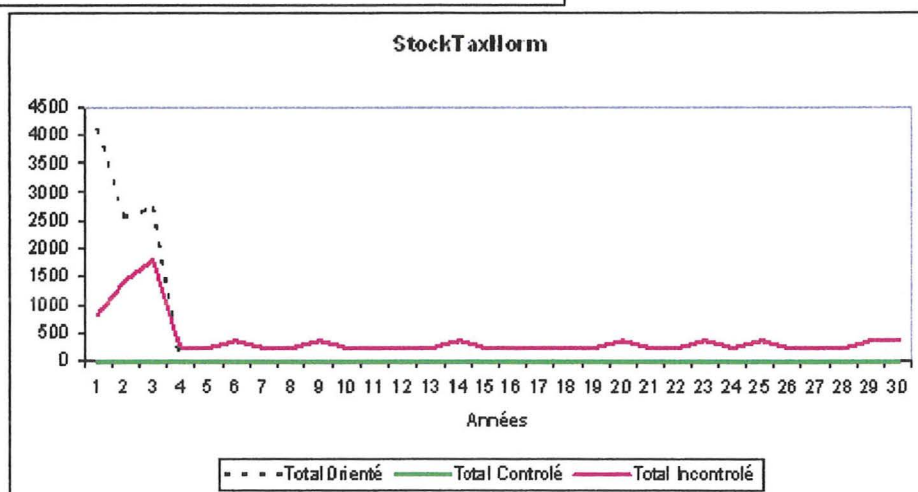
Normale
déficitaire



Stocks

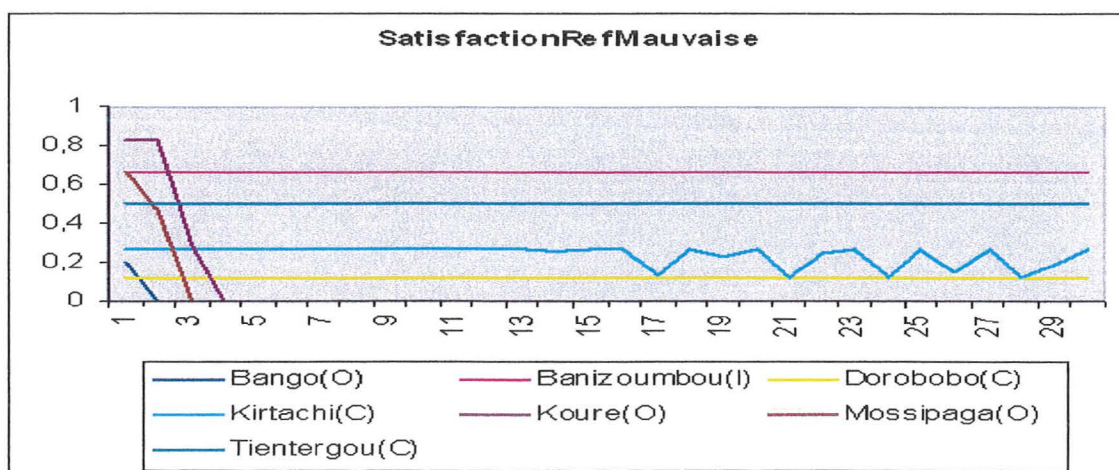


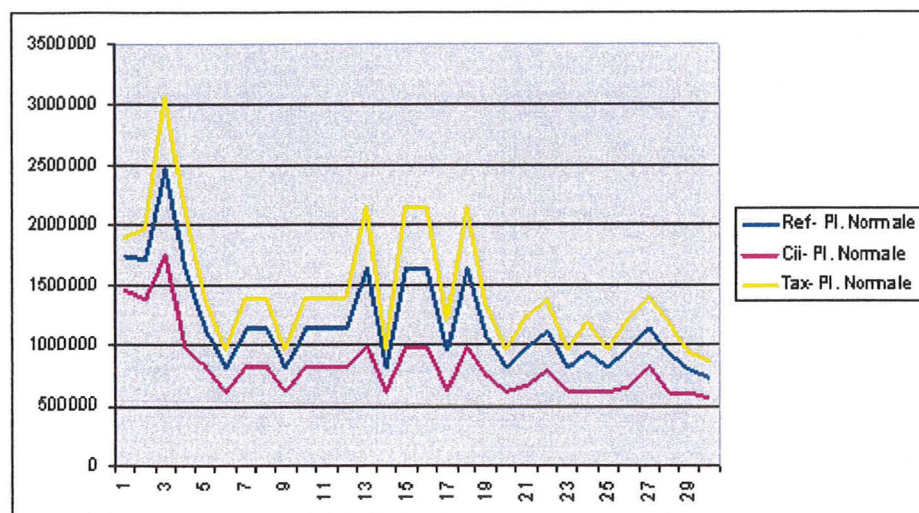
Taxe sur
incontrôlé
mal perçue (2)
bien perçue (1)



Autre critère : la satisfaction par site

Autre critère : la satisfaction par site

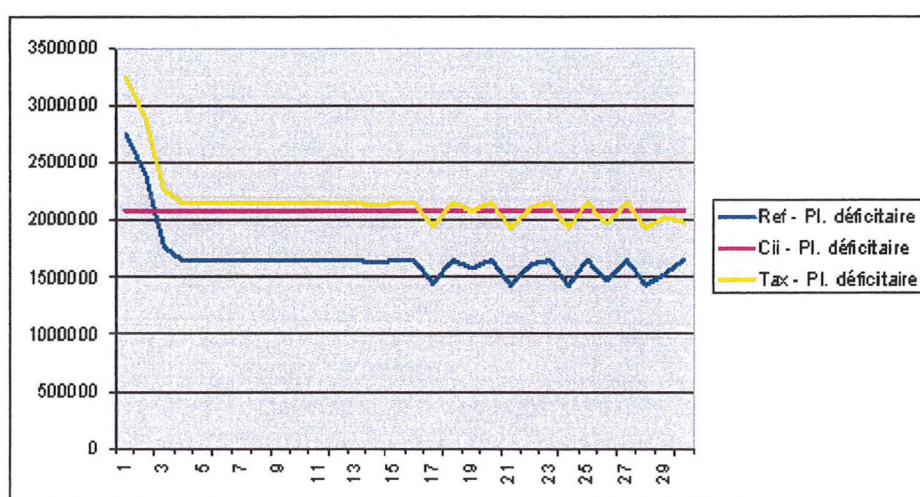




Niveau des taxes perçues

Pluviométrie

normale
déficitaire



Les perspectives

La forme et le contenu du modèle Niger ont été fortement déterminés par la période des travaux de terrain au début de l'opération de recherche. A ce moment l'ensemble de l'imposante documentation du projet Energie II – Energie domestique était rendue inaccessible par la direction du Projet Energie domestique qui avait la gestion de ce fonds documentaire. Ceci explique que, contrairement à ce qui était prévu, les chercheurs de l'opération de recherche aient du sans réels moyens refaire des études de filière « au petit pied » et que donc que beaucoup de temps ait été soustrait à la conception collective du modèle au profit d'une recherche d'information de base, nécessaire :

- pour élaborer les hypothèses introduites dans le modèle,
- pour valider les premiers résultats obtenus (revenus des villages, niveaux des stocks, des ventes par les SLG).

Le modèle a finalement été construit sur la base d'hypothèses plus grossières mais testables, telles que celles présentées à la page 24 ci-dessus.

Il en résulte que les premières conclusions ne peuvent être que provisoires et font ressortir la nécessité de prendre en compte toutes ces informations qui vont être rendues disponibles sur la période .

- Données supplémentaires pour valider tendances observées dans le modèle
- De nouvelles questions de recherche
- Socialisation du modèle : vers de nouveaux scénarios ou de nouveaux indicateurs issus d'autres points de vue

Il convient au contraire de souligner l'importance des informations disponibles au Niger sur les dynamiques naturelles, leur qualité et leur fiabilité. Ceci explique que d'une certaine manière le modèle Niger puisse facilement évoluer dans l'avenir vers un modèle de recherche dévolu à l'aménagement forestier des forêts villageoises.

Le modèle Mali

Au Mali, les informations disponibles étaient à tous égards différentes et ceci explique que le modèle Mali soit au final assez différent du modèle Niger. A l'inverse du Niger les informations disponibles au Mali sur les dynamiques forestières étaient lacunaires ou sans réelle fiabilité scientifique. L'utilisation, dans des limites jugées acceptables, des résultats obtenus au Niger sur des formations écologiquement comparables a plus ou moins permis de lever cette difficulté.

Questions au Mali

La situation des filières bois énergie est très différente au Mali de ce qu'elle est au Niger. Au Niger les consommateurs utilisent quasi exclusivement du bois de chauffe alors que les consommateurs maliens ont entrepris depuis les années quatre-vingt de passer progressivement, d'abord à Bamako, puis dans les autres villes, du bois de chauffe au charbon de bois. On sait que la préparation du charbon de bois aboutit à la perte de 50 à 70 % des calories contenues dans le bois de chauffe initial. Le passage au charbon de bois entraîne donc une extension des bassins d'approvisionnement des villes et une augmentation sensible de la récolte de bois énergie pour satisfaire de façon identique des besoins domestiques des consommateurs urbains. Cette « transition charbonnière » des modes de consommation se développe en outre dans le contexte de l'explosion urbaine de la grande agglomération de Bamako dont la superficie a été multipliée par cinq en moins de deux décennies. Les bassins d'approvisionnement des principales villes du Mali : Bamako, Ségou, Bougouni et même Sikasso sont interpénétrés et ce fait complique la mise en place de mesures économiques incitatives pour orienter la production de bois énergie. Pour la conception du modèle il était donc nécessaire au Mali de distinguer entre bois de chauffe et charbon de bois et d'apprécier les paramètres de cette transition énergétique.

Par ailleurs, les informations disponibles sur les filières bois énergies incitaient d'emblée à envisager un modèle conçu au niveau de l'ensemble d'un bassin d'approvisionnement.

D'autre part, la mise en place de la stratégie énergie domestique au Mali s'est réalisée dans les années 1993-1996 dans un contexte qui a permis à l'alliance entre deux lobbies (celui des agents de l'administration forestière et celui des commerçants transporteurs) de réduire à peu de chose l'impact de cette nouvelle politique. Le contrôle forestier est pratiquement inefficace et les populations des marchés ruraux doivent acquitter des taxes que l'exploitation incontrôlée ne paie pas. Les marchés ruraux ne se sont donc multipliés au Mali que parce que leur mise en place permettait aux populations rurales de récupérer une partie de la légitimité de la gestion et de l'exploitation de leurs ressources forestières.

On voit donc que les questions à la modélisation sont au Mali différentes de ce qu'elles étaient au Niger :

- Adéquation offre/demande (charbon plus consommateur de bois)
 - *nécessité de considérer l'évolution de la demande ?*
- les règles semblent désinciter la production
 - *lié au contrôle ?*
- Interpénétration des bassins d'approvisionnement en bois-énergie des villes
 - *l'échelle du bassin est-elle suffisante pour l'analyse? Les règles sont elles adaptées dans ce cas ? Comment fonctionne le report d'un bassin à l'autre ?*

Etapes

La conception du modèle Mali a donc connu différentes étapes successives.

- Un premier modèle a été conçu pour répondre à la question du fonctionnement de la politique stratégie énergie domestique:
 - Changement du niveau de taxe
 - Changement du contrôle
- Mais, il est apparu qu'il importait de prendre en compte les autres facteurs importants :
 - La limitation au fonctionnement d'un seul bassin ne permettait pas la représentation et la prise en compte des phénomènes de report
 - Il fallait aussi prendre en compte les deux productions de bois de chauffe et de charbon de bois.
- Dans ces conditions pour modéliser une filière il n'était pas nécessaire de multiplier le nombre des marchés ruraux et le modèle a été conçu sur la base de trois marchés ruraux : 1 orienté/ 1 contrôlé/ 1 orienté

Recueil de données : enquêtes

Les travaux de terrain ont permis de collecter des données importantes et de commencer la préparation d'un premier modèle qui est encore très provisoire et qui n'a pas été testé ni validé. Les activités conduites au Mali ont donc concerné :

- Enquêtes sur 5 marchés ruraux Mali

- Choix des sites : Atelier de Bamako janvier 2002.
 - Terrain : Février – Mars 2002
 - C'est à l'atelier de Bamako que ces questions ont été discutées et c'est ensuite au cours de l'année 2002 que les travaux ont été réalisés sur le terrain. On trouvera les résultats de ces travaux à l'annexe 2 dans le tome 3 du présent rapport.
- Élaboration d'un premier modèle
 - Présenté à l'atelier de Dakar Mars 2003. ce premier modèle n'est en fait qu'une première esquisse et il conviendrait de pouvoir poursuivre ce travail. Sans doute en élaborant d'emblée un second modèle
 - Vers un second modèle ? Ce sont les moyens qui pourront être réunis qui décideront de la poursuite de ce travail à l'évidence prometteur.

	Korokoro	Sokouna	Markabougou	Amba	Boni
Date de création	1999	1999	2002	-	-
	Bassin de BAMAKO		B. NIONO	Bassin de MOPTI	
	ORIENTE	CONTRÔLE	ORIENTE	ORIENTE	INCONTROLE
Type de brousse			Diffuse	Tigrée	Tigrée
Potentiel ligneux stères)	-	32700	230802	-	-
Quantité de bois exploitable					
Bois vert (m3/ha/an)	37,158	245	-	-	-
Bois mort (m3/ha/an)	2,987	0,563	-	-	-
Productivité					
(m3/ha/an)	1,015	0,962	0,508	-	-
(Stère/ha)	2,255	2,19	1,16	-	-
Taxe forestière (F/stère)					
Bois de chauffe (F/stère)	400	250	400	400	800
Charbon de bois (F/q)	800	500	800	800	1200
Consommation					
	Urbaine et rurale				
Répartition des taxes (%) en -	-	-	-	-	-
Budget de l'Etat	15	30	15	15	60
Travaux d'aménagement et d'entretien des massifs forestiers	45	30	45	45	-
Contrôle forestier	10	10	10	10	35
Communes rurales	10	10	10	10	-
Chambres régionales d'agriculture	10	10	10	10	-
Remise aux agents forestiers	10	10	10	10	5
Superficie du massif (ha)	797	576,1 (+ 180)/747	8916	-	-
Parcelle 1	402	284,1	-	-	-
Parcelle 2	395	283	-	-	-
Quota annuel d'exploitation					
Parcelle 1 stères	588	245	3684	93 (régulièrement	i
Parcelle 2 (stères)	575	245	3420	-	-
(stère/ha/an)	8,774	3,466	-	-	-
Prix du bois (charrette)/FCFA	1000 à 1500	-	-	-	1500
Prix du charbon (sac)/FCFA	2000 à 2500	-	-	-	-

Les hypothèses du modèle Mali

Les hypothèses de base du modèle Mali ont été formulées sur la base de celles retenues pour le modèle Niger, mais évidemment seulement une part de ces dernières hypothèses a pu être reprise. Les autres hypothèses sont spécifiques au modèle Mali :

- Même hypothèses qu'au Niger: Capacité de coupe fonction de la pluviométrie
- Hypothèses différentes
 - Prix toujours différents selon le type de site mais varient dans le temps en fonction du décalage offre et demande
 - Introduction d'une demande globale de charbon et de bois

La conception du modèle Mali

La conception du modèle Mali a été élaborée sur la base des considérations suivantes.

L'espace et les ressources

- Stratification par mode de gestion
 - 3 sous bassins d'approvisionnement
 - 3 orientés, 2 contrôlés, 1 incontrôlé.
- Stratification écologique
 - 2 Facies de brousse tigrée
 - 1 Facies de brousse diffuse
 - 2 de brousse mixte

Les agents

- Bûcherons : 30 par site ;
 - Décision de coupe : capacité de coupe, fonction de la pluvio (12/20/40 stères)
 - Décision de déplacement
 - Décision de transformation en charbon de bois (fonction de la saison, sous forme de %)
- Commerçants : 10 :
 - demande Totale de bois et charbon du bassin répartie entre les différents commerçants
 - Achat fonction de la Demande, du prix du charbon (hors taxe) et saison (pluie, no incontrôlé)
 - Paie la taxe mais....

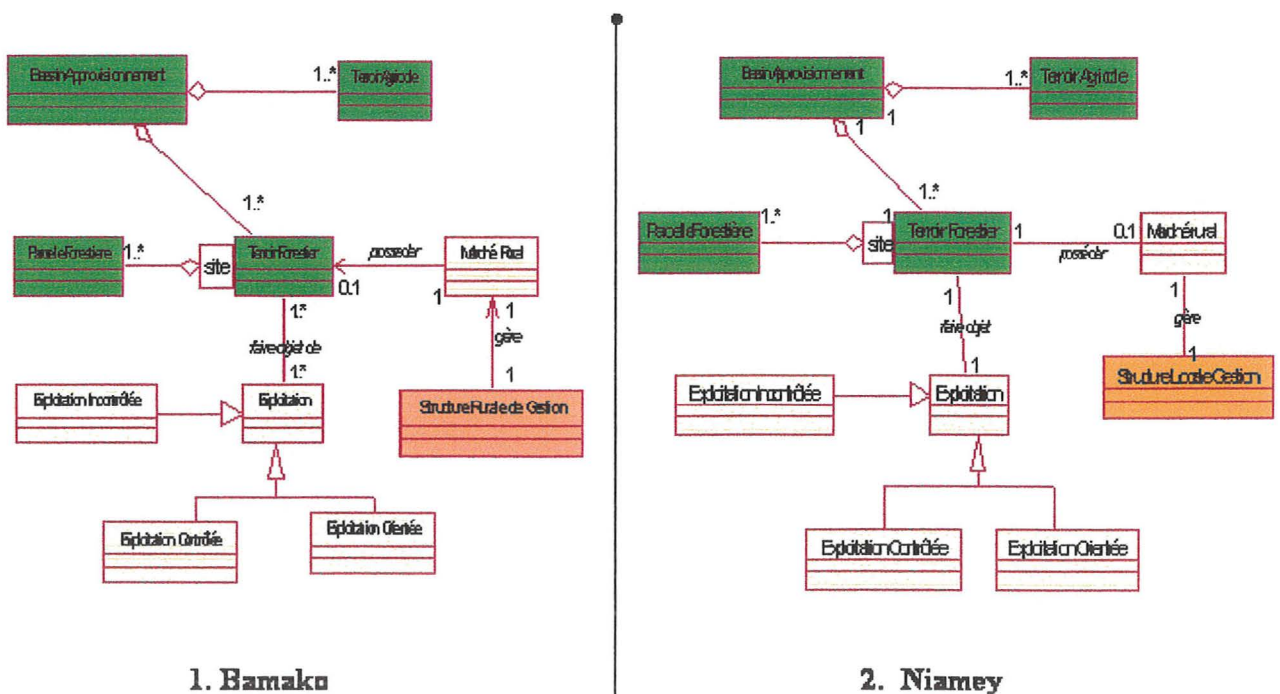
Les agents

- Structures locales de gestion (une par MR)
 - Fixe quota global sur le site , qui porte sur l'exploitation
- Ville de consommation :
 - Consommation : répartition bois/ charbon
 - Le niveau de la demande est fixé pour une année donnée
 - Taux de croissance de la demande de bois/ de charbon

Implémentation

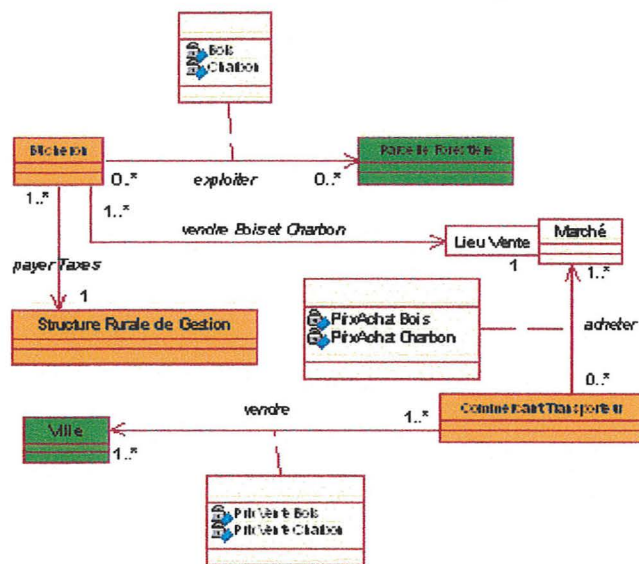
(2) Modèles: Diagrammes de classes colorées

Bassins d'approvisionnement

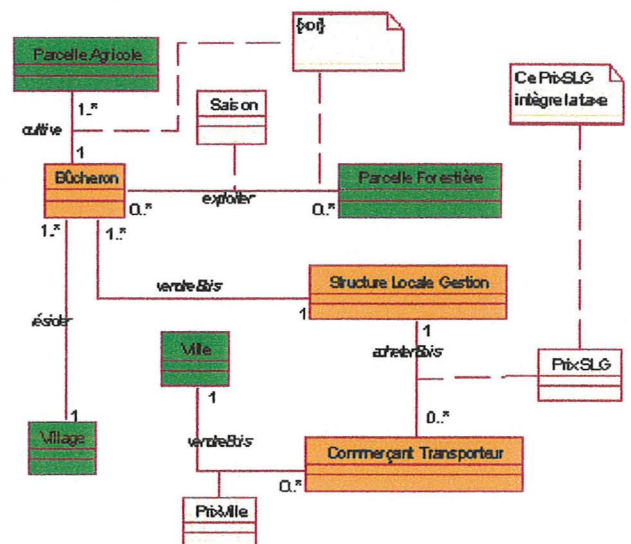


Modèles: Diagrammes de classes colorées

Exploitation Bois/Charbon



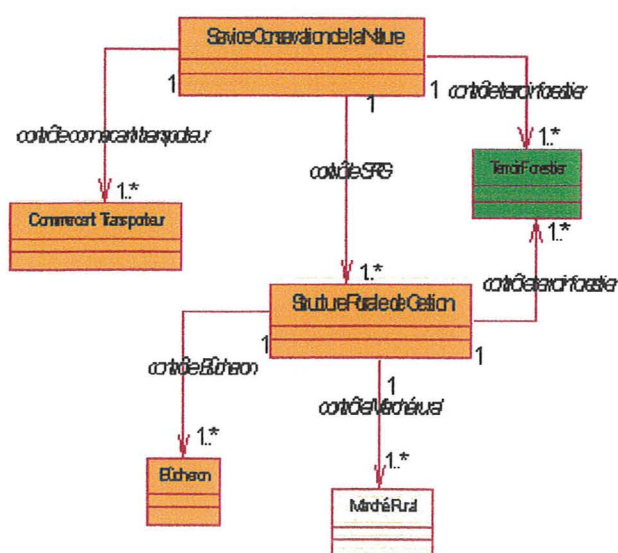
1. Bamako



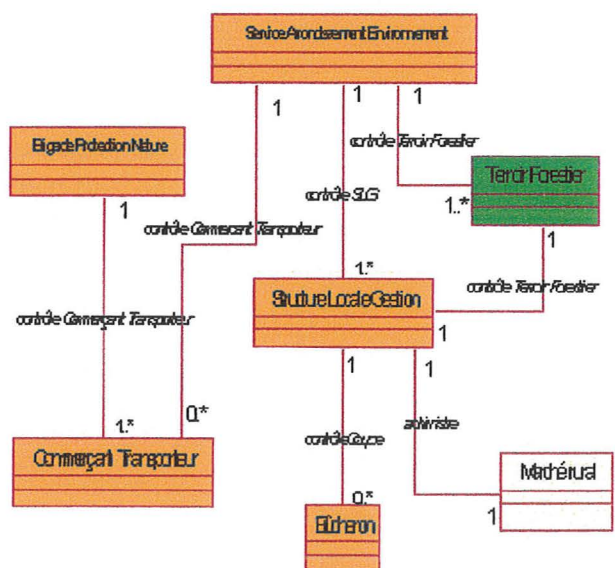
2. Niamey

Modèles: Diagrammes de classes colorées

Contrôle / Régulation



1. Bamako



2. Niamey

	Modèle Mali	Modèle Niger
RESSOURCE	Cellules homogènes 2 ha	Cellules de taille différentes
	Productivité homogène par cellule : 77 stères/ha (27/50)	Productivité différente selon les sites : entre 13 et 65 stères/ha au total
REGLES D'EXPLOITATION	3 sites homogènes de 730 ha	7 sites hétérogènes
	Sites hors incontrôlé : Rotation de l'exploitation en deux blocs sur 6 ans	Sites hors incontrôlé: rotation variable selon les sites entre 6 et 10 ans

	Modèle Mali	Modèle Niger
AGENTS	Bucherons : 30 bucherons par site ; fixe au cours de la simulation	Bucherons nombre différents selon les sites; fixe au cours de la simulation
	Transporteurs : leur capacité est fonction de la demande (bois et bois équivalent charbon) .	Transporteurs : Capacité d'achat non fixée (seulement limitée par la production)
Paramètres	La demande est estimée à 10% du potentiel ligneux dont 70% sous forme charbon)	Pas de demande

en l'état actuel des travaux d'élaboration du modèle, il est évidemment impossible de tirer quelques conclusions que ce soit. Quelques questions peuvent néanmoins être formulées qui serviront à alimenter les travaux du futur deuxième modèle Mali :

- Réflexion sur le niveau de taxe et sur l'efficacité du contrôle : quelle peut être l'influence combinée du niveau de taxe et du taux de perception du contrôle sur le comportement de l'exploitant ? Si la taxe est effectivement perçue et dépasse un certain seuil peut-on envisager que les exploitants renoncent à l'exploitation incontrôlée ?
- Il importe de compléter un certain nombre de données pour nourrir la modélisation de la ressource, des comportements des agents.
- Il faut aussi reformuler les questions de recherche en fonction de tous les échanges de l'atelier de Dakar et des travaux qui ont suivi.

Ce n'est qu'ensuite qu'il sera possible de construire un véritable modèle Mali, de le tester, de le valider et de le faire tourner pour pouvoir enfin procéder à l'analyse de résultats pour le Mali.

Bilan et perspectives

Il importe maintenant de dresser un bilan aussi synthétique que possible et de tracer les perspectives souhaitables ou les probabilités crédibles pour la suite de ce travail à l'évidence encore inachevé.

La problématique générale de l'opération de recherche consistait à essayer de formaliser une méthode d'analyse (par la simulation multi-agents) des interactions entre les dynamiques naturelles et les dynamiques sociales de façon à proposer des méthodes permettant d'améliorer la concertation préalable au processus de prise de décision pour la mise en place de nouvelles règles concernant l'accès et la gestion des ressources forestières périurbaines au Sahel. Cette problématique vise à répondre à un besoin réel. En effet, dans plusieurs pays sahéliens comme le Niger et le Mali ont été mise en place et en œuvre depuis plus de 10 ans des politiques nouvelles concernant le bois énergie et appelées Stratégies énergie domestique. Ces politiques sont actuellement en phase d'évaluation et d'ajustement. Toute méthode qui permet aux décideurs politiques de prendre des décisions sur la base d'une concertation plus informée est donc susceptible d'avoir des conséquences positives et des impacts visibles sur le terrain.

Les Stratégies Energie domestiques du Niger et du Mali sont des politiques forestières concernant le bois énergie :

- Qui mettent en place des *règles* nouvelles (aménagement des massifs, quotas, fiscalité, etc.).
- Ces règles nouvelles induisent des modifications dans les relations et les *pratiques* des acteurs du système (exploitants, transporteurs, agriculteurs, agropasteurs, ...) et donc influent sur les dynamiques naturelles.
- Ces *interactions* entre les acteurs entre eux et avec l'écosystème (adaptation) constituent un système complexe qui ne peut être analysé et modélisé par la simulation multi-agents qu'au terme d'une démarche minutieuse.

L'intérêt de la modélisation multi-agents est de permettre d'engager une démarche de prospective sur les effets des modifications de ces interactions sur la durabilité de l'exploitation de ces écosystèmes. Les SMA apparaissent donc comme un outil intéressant pour réaliser :

- Une construction collective dans le cadre d'une recherche interdisciplinaire d'explicitation des hypothèses
- pour des études prospectives et non pour la prévision directe
- pour poser de nouvelles questions et envisager de nouvelles options de règles de gestion.

Dans ces conditions, il est donc clair qu'il serait vain d'envisager un quelconque modèle global répondant à toutes les questions. A chaque catégorie de questions, doit correspondre un modèle spécifique.

Un autre ensemble de résultats important de l'opération de recherche aura été de :

- Permettre et assurer la constitution effective d'une équipe de recherche inter-institutionnelle, internationale, autour de la construction et de l'utilisation des SMA. Les chercheurs des différentes institutions (Université de Niamey, CRESA, INRAN, IER, ESP, Cirad) qui ont de bout en bout participé à l'opération de recherche ont appris à se connaître, à travailler ensemble et à s'apprécier. Ils sont tous volontaires pour continuer à le faire si les financements le permettent ou l'organisent.
- Donner un contenu à la démarche de l'interdisciplinarité. L'association de thématiciens des sciences biologiques, des sciences sociales et des modélisateurs-informaticiens a permis un réel travail collectif qui aurait été impensable et impossible dans quelque cadre disciplinaire que ce soit.
- D'arriver à une réelle appropriation de la démarche de modélisation par un certain nombre de chercheurs du Niger, du Mali et du Sénégal. Et donc de mettre en place au Sahel un ensemble de compétences permettant d'utiliser les SMA au-delà de la présente opération de recherche.
- De poser autrement que de façon abstraite et infondée la question de la pérennisation de l'équipe et de l'action pour conduire cette activité de recherche jusqu'à son terme.

Démarche générale & travaux réalisés

L'ensemble du travail effectué l'a été en mois de 18 mois de travail effectif compte tenu des moyens limités mis en place par le CSFD.

Ces travaux ont concerné dans ce laps de temps finalement très court : enquêtes dans chacun des pays, élaboration d'un premier modèle pour chacun des pays, tests, analyse des résultats et préparations des ateliers de lancement au Niger au Mali et de l'atelier de restitution de Dakar. On le voit l'équipe constituée par l'ensemble des chercheurs partenaires qui se sont impliqués dans l'opération de recherche a effectué un travail considérable et a obtenu des résultats significatifs. Ces résultats sont à l'évidence encore incomplets et partiels et les travaux devraient pouvoir continuer pour que l'opération de recherche aille jusqu'à son terme et permette de tirer tous les enseignements positifs de cette opération. Pour l'instant ces résultats positifs restent pour une large part encore en pointillé et devront être confirmés.

Il serait souhaitable que le travail en commun de préparation et de discussion des modèles et des résultats soit prolongé d'une durée réelle de travail d'au moins 6 à 10 mois pour l'ensemble des chercheurs impliqués dans l'opération de recherche avec un nouvel atelier en fin de processus. Ces travaux pourraient être réalisés à Dakar et/ou à Montpellier. Ceci ne pourra pas être envisagé sans la mise en place dans un cadre ou dans un autre d'un financement complémentaire conséquent que l'on peut évaluer arbitrairement et de façon globale à 40 à 60 % du budget initial de l'opération de recherche.

Les travaux réalisés peuvent être caractérisés comme suit :

- Une démarche commune a été conduite au Niger et au Mali. Cette démarche s'articulait en trois phases:
 - ✓ enquêtes,
 - ✓ conception de modèles,
 - ✓ simulation
- La mise en œuvre des actions a été réalisée pendant des phases de travail en commun. Ces périodes ont été finalement relativement (trop) courtes (11 mois) par rapport à la durée du projet (3 ans)

Un certain nombre de difficultés doivent être rappelées, car elles ont pesé sur l'avancement des travaux et sur les résultats de l'action de recherche. Ces difficultés sont liées au contexte particulier existant au moment des travaux dans tel ou tel pays :

- Il y a eu principalement d'importantes difficultés d'accès à l'information de base :
 - ✓ Le projet énergie domestique du Niger, n'a pas permis l'accès des chercheurs à la documentation de l'ancien projet Energie II –Energie domestique dont il avait la charge. Une des difficultés du travail a consisté dans le fait qu'il n'existait aucune archive consultable du projet Energie II. Le modèle Désertification-Niger n'a pu donc être testé par confrontation avec des séries mensuelles d'exploitation de bois par marché rural et de revenus générés. Par ailleurs, contrairement à ce qui était annoncé, nous n'avons pu accéder aux données SIG de la zone d'approvisionnement de Niamey, ce qui a occasionné un retard dans le travail prévu en commun entre les chercheurs maliens, nigériens et sénégalais.
 - ✓ La stratégie énergie domestique du Mali n'avait contrairement à ce qui était prévu contractuellement dans le document de projet financé par la Banque Mondiale pas mis en place de parcelles de suivi environnemental.
- Il y a eu ensuite au Mali l'obligation de choisir des sites sur le terrain sans pouvoir disposer d'un délai et d'un recul suffisant. En revanche, les conditions de travail de l'équipe au Mali ont été grandement facilitées par la présence de la cellule Combustibles ligneux ainsi que la mise à disposition de bibliographie et données. Néanmoins on peut considérer que le modèle Désertification-Mali est encore au stade de l'ébauche.

Résultats et réponses déjà obtenus

Les résultats déjà obtenus illustrent bien (et de façon concrète pour les chercheurs qui y ont participé) les avantages et les difficultés d'une démarche de modélisation multi-agents. En effet, construire un modèle SMA impose de :

- faire dialoguer en continu informaticiens et chercheurs de terrain (forestier, biologiste et socio-économiste)
- vérifier les informations et se poser toutes les questions même celles dont la réponse semble implicite ou évidente
- pouvoir effectuer un véritable travail d'équipe de discussion et d'élaboration par approches récurrentes successives
- être présent à proximité du terrain pour collecter et valider des informations complémentaires

Ces résultats conduisent aussi à reformuler en partie la problématique de recherche pour la faire coller au plus près à la réalité observée. Cela permet de poser de nouvelles questions ou de reformuler certaines autres :

- quelle est la portée des modèles actuels: à ce stade, leur utilisation est limitée à la recherche. Sera-t-il possible et à quelle échéance de répondre aux besoins du développement par une démarche adaptée et prudente de chercheurs impliqués ? N'est-ce pas une nécessité pour répondre à la préoccupation de la désertification ?

- Comment tenir compte de l'hétérogénéité de la représentation des acteurs par les agents informatiques (par ex., bûcherons vs transporteurs) ?
- Pour répondre à certaines questions, ne rencontre-t-on pas la nécessité du réalisme de la représentation spatiale? Vers un couplage SIG/SMA ? Cette perspective devrait être explorée sur le cas d'un bassin d'approvisionnement en bois énergie et pourrait constituer en soi le thème d'une opération de recherche nouvelle et particulière.
- Vers d'autres formes de modèles pour la restitution ? L'analyse des simulations et des résultats est un processus extrêmement long, délicat, méticuleux et laborieux. Le présent rapport n'a justement pas pu rendre compte de ce processus qui n'a été qu'engagé et ébauché par l'équipe au cours de l'opération de recherche. On peut se demander, si au terme de ce travail, il ne serait pas utile pour une présentation plus claire et succincte des résultats de reformater un nouveau modèle sous une forme pédagogique ?

Les principaux résultats obtenus au Niger sont les suivants :

1. Au Niger, un déséquilibre des données en faveur des sciences biologiques
 - Des parcelles de suivi écologique et forestier et des résultats d'observation,
 - la thèse d'Aboubacar Ichaou et les autres travaux sur les brousses tigrées
 - l'indisponibilité des informations socio-économiques globales sur les acteurs de la filière bois à Niamey
 - pas de chercheur en socio-économie ou en sciences humaines dans l'équipe de terrain

Élaboration d'un modèle centré sur la gestion et l'exploitation de la forêt villageoise

2. Au Niger, une nouvelle piste de recherche utilisant les SMA
 - Représenter les effets à long terme des règles d'aménagement et des pratiques d'exploitation sur les dynamiques naturelles
 - Evaluer les conséquences et l'impact de la fixation du quota sur l'aménagement forestier villageois
 - Comparer marchés ruraux orientés et contrôlés en terme de coût/efficacité de l'aménagement forestier
 - Vers un modèle informatique SMA de l'aménagement forestier des forêts villageoises dans les brousses contractées
3. Un autre type de validation du modèle réalisé pour le Niger est envisagé dans le futur. Il s'agit d'organiser un jeu de rôle concernant un des marchés ruraux (Koure ?) de façon à vérifier si les comportements des transporteurs et des villageois exploitant le bois sont comparables aux comportements introduits dans le modèle.

Les principaux résultats obtenus au Mali sont les suivants :

1. Au Mali, l'élaboration d'un modèle simplifié plus global et plus schématique
 - Des données biologiques standardisées
 - Des données socio-économiques et techniques réalistes (mais parfois incohérentes avec la SED Mali)

Élaboration d'un modèle centré sur les effets des instruments économiques incitatifs de gestion des ressources forestières Un modèle plus simple, plus schématique, mais moins déterministe pour répondre à des questions variées

2. Au Mali, Poursuivre le SMA représentatif d'un bassin d'approvisionnement urbain avec un certain nombre d'interrogations spécifiques :
 - Efficacité combinée du contrôle forestier, du quota et des incitations économiques de la fiscalité différentielle sur la gestion forestière globale.
 - Influence de la répartition du produit de la fiscalité forestière différentielle entre Etat, commune et communauté villageoise.
 - Influences respectives de la fiscalité différentielle, du contrôle et des revenus locaux des paysans-bûcherons et des charbonniers.
 - Influence respectives des incitations économiques et des améliorations techniques (carbonisation améliorée).
 - Glissements entre contrôlé et incontrôlé et vice-versa.

Les débats réalisés lors de l'atelier de Dakar ont montré que les deux modèles ne pouvaient avoir la même visée :

- le modèle desertificationNiger se situe plus dans une perspective de test de différents scénarios d'aménagement forestier à l'échelle de la parcelle, dans le contexte des règles et pratiques induites par la politique ;
- le modèle desertificationMali paraît plus adapté au traitement de questions sur la logique des instruments et règles utilisées dans le cadre de la politiques bois énergie.

Pour que les modèles soient adaptés à leurs objectifs, il importe de bien définir les critères d'observation des résultats des modèles. Ces critères sont définis par rapport à une question, ils sont spécifiques à un modèle, voire à une version du modèle. L'ajout ou la suppression de paramètres d'observation du modèle traduit l'évolution des connaissances sur les sujets étudiés.

A ce stade du travail, nous disposons de modèles et d'outils. La recherche est à poursuivre sur les critères de validité et de les limites de pertinence de ces modèles.

Formation et renforcement des compétences en Afrique

La formation et la validation de compétences nationales du Niger du Mali et du Sénégal en matière de modélisation multi-agents constituait un des objectifs importants de l'opération de recherche. Le bilan à ce sujet est incontestablement positif.

- Le renforcement de l'équipe SMA de l'ESP, Dakar est engagé et en bonne voie :
 - 1 thèse en cours (SMA et gestion des ressources naturelles)
 - 1 DEA en cours (protocoles de négociation dans les SMA)
 - 2 stages d'ingénieurs (SMA distribués)
 - Stages de DUT (bases de données)
- Le renforcement de l'Université de Niamey est aussi en cours :
 - 1 thèse en cours (dynamique des écosystèmes forestiers du Parc du W, au Niger)
- Le processus est moins clairement positif à l'IER de Bamako. Une thèse est envisagée, mais n'est pas formellement engagée.

D'ores et déjà les chercheurs ayant participé à l'opération de recherche se sont engagés dans la rédaction d'articles et de publications scientifiques. Ce processus devrait en principe se poursuivre au cours de l'année 2004.

Perspectives de poursuite des travaux de recherche

Comme cela a déjà été indiqué plus haut, l'ensemble des chercheurs ayant participé régulièrement aux travaux de l'opération de recherche souhaite avoir la possibilité de poursuivre le travail engagé par l'équipe jusqu'à l'obtention et la publication de résultats.

La véritable question est celle des modalités envisageables pour pérenniser le travail d'équipe et le partenariat autour des SMA et de la problématique bois énergie et autres produits forestiers :

1. Sur chacun des sites au Niger et au Mali. Comment appuyer et étendre autour de la poursuite du travail engagé la formation et la consolidation des compétences réelles mises en places dans le domaine des SMA ?
2. Dans quel cadre pourraient être recevables et finançables des propositions de travaux complémentaires pour poursuivre le processus engagé ?
 1. Aide à la recherche ?
 2. Appuis à la formation / communication ?
 3. Appui au développement pour aller jusqu'à l'aide à la décision des instances publiques ?
 4. Aide à la réalisation de publications scientifiques ?

On voit bien que c'est l'ensemble de ces besoins qu'il serait légitime d'appuyer.

Publications, communications et formations

L'équipe des chercheurs qui se sont impliqués dans l'opération de recherche a commencé à rédiger un certain nombre de communications et d'articles pour assurer ensemble la publication d'un certain nombre de résultats :

1. Sont actuellement en préparation ou présentés à l'édition :
 - *L'utilisation du SMA comme outil d'aide à la décision pour les politiques forestières* contribution proposée dans l'ouvrage en préparation au Cirad-Forêt : *L'Etat et les politiques forestières en Afrique francophone.*
 - *Multi-agent modeling to analyse the desertification process in the basin of Niamey*, proposition de communication au colloque Modsim 2004.
2. Sont envisagées dans un avenir proche et à un peu plus long terme des publications communes par l'équipe d'un certain nombre de résultats :
 - dans des revues scientifiques à comité de lecture
 - dans un numéro spécial d'une revue ciblée
 - dans des revues spécialisées (Sécheresse, BFT, etc... ?)

3. Par ailleurs, à la suite de l'atelier de Dakar tenu à l'Université Cheik Anta Diop dans les locaux de l'ESP un site internet a été mis en place. Ce site actuel (<http://www.ucad.sn/sma>, rubrique Projets Désertification) propose un certain nombre d'informations et de documents
4. la réalisation de posters est également prévue.

Besoins de financement et perspectives de poursuite des travaux

On a précisé plus les raisons qui justifient la demande de mise en place d'un financement complémentaire que l'on peut évaluer entre 40 et 60% du budget attribué à l'opération de recherche pour simplement pouvoir achever le travail engagé et procéder à cet effet au long et minutieux travail en commun de préparation et de discussion des modèles et des résultats sur une durée de travail effectif d'au moins 6 mois. Il conviendrait en outre de prévoir un temps supplémentaire pour tester de nouvelles hypothèses et répondre à de nouvelles questions de recherche :

- Si l'on supprime la limitation de l'exploitation des marchés orientés sur le bois mort, le quota est-il un outil efficace ou non d'aménagement forestier ?
- Comparer en terme de coût/efficacité de l'aménagement les marchés ruraux orientés et contrôlés
- Une restitution et un débat des résultats avec les administrations forestières et les acteurs du Mali et du Niger ?
- Participation à des actions de formation en zone sahélienne ?
- Formation de nouvelles compétences en informatique et en modélisation au Niger et au Mali ?

Il conviendrait en outre de prévoir un dernier atelier au terme de cette prolongation d'un total d'une dizaine de mois.

Ces travaux pourraient être réalisés à Dakar et/ou à Montpellier. Ceci ne pourra pas être envisagé sans la mise en place dans un cadre ou dans un autre d'un financement complémentaire.